



Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Escuela de Ingeniería Geológica



EVALUACION DE LA CONDICION GEOTECNICA DE LOS FRENTES ACTIVOS DE LA MINA DE HIERRO EL UVO

ANGELICA ANDREA PAEZ LOPEZ

**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA
SOGAMOSO
2016**



Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Escuela de Ingeniería Geológica



EVALUACION DE LA CONDICION GEOTECNICA DE LOS FRENTES ACTIVOS DE LA MINA DE HIERRO EL UVO

ANGELICA ANDREA PAEZ LOPEZ

Trabajo de grado en la modalidad de práctica empresarial como requisito para
optar al título de Ingeniero Geólogo

Director:

NEBARDO ARTURO ABRIL GONZALEZ
Ingeniero Civil, Msc Geotecnia

UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA
SOGAMOSO
2016

Nota de Aceptación

Director del proyecto de grado

Jurado

Jurado

Sogamoso, 02 de Mayo, 2016

A Dios que hace todo posible.

*A mi familia, quienes me dan la
fuerza para seguir adelante y
cumplir todas mis metas.*

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA, alma mater de formación profesional, ética y social, por el proceso de aprendizaje y acogida en el transcurso de la carrera.

A los docentes de la escuela de Ingeniería Geológica, por sus enseñanzas y contribución a mi formación como persona y como profesional.

A la empresa Minas PazdelRío S.A. y al equipo de trabajo del área de Recursos por el aprendizaje continuo en el transcurso de la práctica.

Al ingeniero Jorge Oswaldo Moreno, por su gran contribución a mi formación profesional, aprendizaje y por el apoyo incondicional en el desarrollo de esta práctica empresarial.

Al ingeniero Nebardo Arturo Abril González por su enseñanza y apoyo en el desarrollo de este proyecto de grado.

A todo el personal de la Mina El Uvo, quienes siempre me brindaron su apoyo y acompañamiento.

A la familia Roa Camacho, por hacer agradable mi estadía en la ciudad de Sogamoso y por recibirme en su casa como parte de la familia.

A Yenny por su valiosa amistad, por sus consejos, enseñanzas y apoyo incondicional.

A mi familia, que con su cariño, comprensión, apoyo y confianza me impulsan a seguir adelante.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO.....	11
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1. OBJETIVOS	14
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
2.2. JUSTIFICACIÓN	15
3. MARCO DE REFERENCIA	16
3.1. GENERALIDADES	16
3.1.1. Localización y vías de acceso	16
3.1.2. Hidrografía.....	17
3.1.3. Clima y precipitación	17
3.1.4. Flora y fauna	18
3.2. MARCO GEOLOGICO	18
3.2.1. Geología regional	18
3.2.2. Geología local	20
3.2.3. Explotación del mineral de hierro.....	26
3.3. ESTUDIOS ANTERIORES	27
4. METODOLOGIA PARA EVALUAR LA CONDICIÓN GEOTÉCNICA	29
4.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	29
4.2. ANALISIS DE DISCONTINUIDADES	31

4.3.	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	35
4.4.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	40
5.	RESULTADOS	45
5.1.	ANÁLISIS DE DISCONTINUIDADES	45
5.2.	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	46
5.3.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	46
6.	CONCLUSIONES	49
7.	RECOMENDACIONES.....	50
	BIBLIOGRAFÍA.....	51
	ANEXOS	53

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Dimensiones de labores bajo tierra para la Mina El Uvo.	26
Tabla 2. Dimensiones promedio de labores mineras evaluadas.	29
Tabla 3. Resistencia de los planos de discontinuidad tomados con el Martillo Schmidt.	31
Tabla 4. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).....	36
Tabla 5. Parámetros mecánicos del macizo rocoso en relación al índice RMR.	37
Tabla 6. Resultados del ensayo con el Martillo Schmidt.	38
Tabla 7. Clasificación RMR de la cámara 9118.....	40
Tabla 8. Propiedades de los materiales del bloque El Uvo.	41
Tabla 9. Direcciones preferenciales de familias de discontinuidades en cada frente (Dip / Dip direction).	45
Tabla 10. Direcciones preferenciales de familias de discontinuidades en cada frente (Rumbo / Buzamiento).	45
Tabla 11. Clasificación RMR, Bieniawski, 1989, de cada frente evaluado.	46
Tabla 12. Factor de seguridad de las cuñas formadas.	47
Tabla 13. Características de las cuñas potencialmente inestables.	47

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización mina de hierro El Uvo.	16
Figura 2. Frentes de explotación a evaluar.	17
Figura 3. Mapa geológico local.....	25
Figura 4. Esquemas de frentes de explotación.	27
Figura 5. Red de proyección equiareal de Schmidt.....	32
Figura 6. Diagrama de polos para la Cámara 9118.....	33
Figura 7. Concentraciones de polos. Cámara 9118.	34
Figura 8. Diagrama de rosetas de la cámara 9118.	34
Figura 9. Planos de orientaciones principales.	35
Figura 10. Curvas de conversión del índice de rebote de campo. Modelo de martillo L/LR.....	38
Figura 11. Estereograma de la cámara 9118 con las orientaciones principales de discontinuidades.	42
Figura 12. Cuñas perimetrales formadas en la cámara 9118.....	42
Figura 13. Cuña formada en el frente de avance de la cámara 9118.....	43
Figura 14. Mapa de isocontenido de Hierro.....	63
Figura 15. Zonificación de susceptibilidad del terreno a movimientos en masa del título minero 006-85M.	64

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

Fotografía 1.	Matriz de oolitos en contacto con siderita y bitumen como material cementante.	22
Fotografía 2.	Oolitos con anillos de goethita.	23
Fotografía 3.	Oolito con anillos de goethita, chamosita y siderita.....	23
Fotografía 4.	Toma de datos estructurales de discontinuidades.	30
Fotografía 5.	Medición in situ de resistencia con el martillo Schmidt.....	30
Fotografía 6.	Cuña formada por la intersección de diaclasas en el techo de una labor en la mina El Uvo.	41
Fotografía 7,8.	Núcleos de perforación en cajas metálicas.	60
Fotografía 9 - 11.	Ejecución de pruebas de campo en estudio de suelos.	61
Fotografía 12,13.	Techo de labor minera en explotación y tablero con la respectiva información de evaluación.	61
Fotografía 14,15.	Muestras para realización de ensayo propiedades físicas.	62
Fotografía 16-19.	Levantamiento de fallas dentro de la mina El Uvo.	64,65

GLOSARIO

Para la evaluación de la condición geotécnica de los frentes de explotación es necesario comprender principios esenciales de la mecánica de rocas. A continuación se muestran algunas definiciones de términos clave utilizados en el presente trabajo.

Diaclasa: Grieta o fractura en la cual no ha habido desplazamiento de una de sus paredes con relación a la otra. Cuando son de origen tectónico, son el resultado del comportamiento frágil de las rocas.

Discontinuidad: Cualquier plano de separación de la matriz rocosa en un macizo, pudiendo tener origen sedimentario, como las superficies de estratificación o laminación, diagenético o tectónico, como las diaclasas o fallas. Los planos de estratificación son las superficies que limitan los estratos en rocas sedimentarias. Se trata de discontinuidades sistemáticas con una continuidad elevada, y cuyo espaciado oscila generalmente entre unos pocos centímetros y varios metros. Las superficies de laminación son discontinuidades sistemáticas que aparecen en las rocas sedimentarias, correspondiendo a los planos que limitan las láminas o los niveles macroscópicos más pequeños de una secuencia sedimentaria.

Falla: Fractura a lo largo de la cual ocurre desplazamiento de los bloques rocosos que son separados por ella debido a las fuerzas que actúan en la zona de falla.

Macizo rocoso: Conjunto de bloques de matriz rocosa y de discontinuidades de diversos tipos que afectan el medio rocoso.

Matriz rocosa: Material rocoso exento de discontinuidades, o bloques de “roca intacta” que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su macroestructura mineral. Mecánicamente está caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad.

Rock Mass Rating (RMR): Clasificación geomecánica para macizos rocosos propuesta por Z. T. Bieniawski en 1973 y modificada por el mismo autor en años posteriores. Esta clasificación evalúa parámetros de resistencia y calidad de la roca intacta, condición, orientación y espaciamiento de las discontinuidades y la presencia de agua.

RESUMEN

Este trabajo de grado presenta una metodología para estimar la condición geotécnica de los frentes de explotación de la mina El Uvo a partir de la evaluación de las discontinuidades del macizo rocoso, la clasificación del mismo y el análisis de estabilidad de las cuñas generadas a través de modelamiento tridimensional en el software Unwedge 3.0 con el fin de conocer sus características y cuáles son las más propensas a caer. De este modo, se obtiene una proyección del tipo de macizo y su comportamiento en los frentes evaluados.

El análisis de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades se realizó en el software Unwedge 3.0, donde se calculan el factor de seguridad, ubicación en el túnel, peso y volumen de las cuñas. Posteriormente, estos resultados son comparados con la clasificación mecánica del macizo en cada frente para deducir la condición geotécnica esperada.

Como aparte en este trabajo, se presenta el capítulo 6 para describir brevemente las actividades complementarias desarrolladas durante la práctica en la empresa Minas PazdelRío S.A.

PALABRAS CLAVE: Macizo rocoso, discontinuidad, cuña, condición geotécnica, frente de explotación.

INTRODUCCIÓN

La mina El Uvo se encuentra activa desde el año 1954, desde cuando se realiza la extracción de mineral de hierro bajo tierra por el método de cámaras y pilares donde el buzamiento lo permite y por el método de tambores en sectores en los cuales el banco de mineral presenta mayor inclinación. Actualmente la mina cuenta con 9 niveles de desarrollo con labores entre los 150 y 800 metros de profundidad.

Las discontinuidades generadas en macizos rocosos sometidos a esfuerzos, se convierten en planos de debilidad propicios para la caída de rocas cuando se realizan excavaciones subterráneas, como es el caso de las labores mineras de la mina El Uvo. Es por esto que en general, la minería subterránea es una de las actividades donde el riesgo de accidentes generados por caída de rocas siempre está latente.

Para mitigar este problema, es necesario hacer seguimiento y control de las labores mineras, siguiendo una metodología que permita conocer y estimar oportunamente la condición geotécnica de los frentes en explotación para de esta manera contribuir en la toma de decisiones que garanticen la seguridad de la operación y minimizar el riesgo de accidentes por caída de rocas.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Aplicar una metodología para estimar la condición geotécnica de 1 vía y 4 cámaras entre el octavo y noveno nivel inferior de la Mina de Hierro El Uvo, con el fin de reducir el riesgo de accidentes por caída de bloques.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información existente de cartografía, geotecnia y estudios realizados en el área de interés.
- Caracterizar las discontinuidades de las cámaras 8216, 9118, 9127, 9129 y la vía 820 de la mina de hierro El Uvo.
- Efectuar el procesamiento estadístico y representación estereográfica de las familias de discontinuidades de los frentes en estudio.
- Realizar el análisis de estabilidad por cuñas.
- Analizar la afectación de las labores mineras sobre la condición de las discontinuidades.

3. MARCO DE REFERENCIA

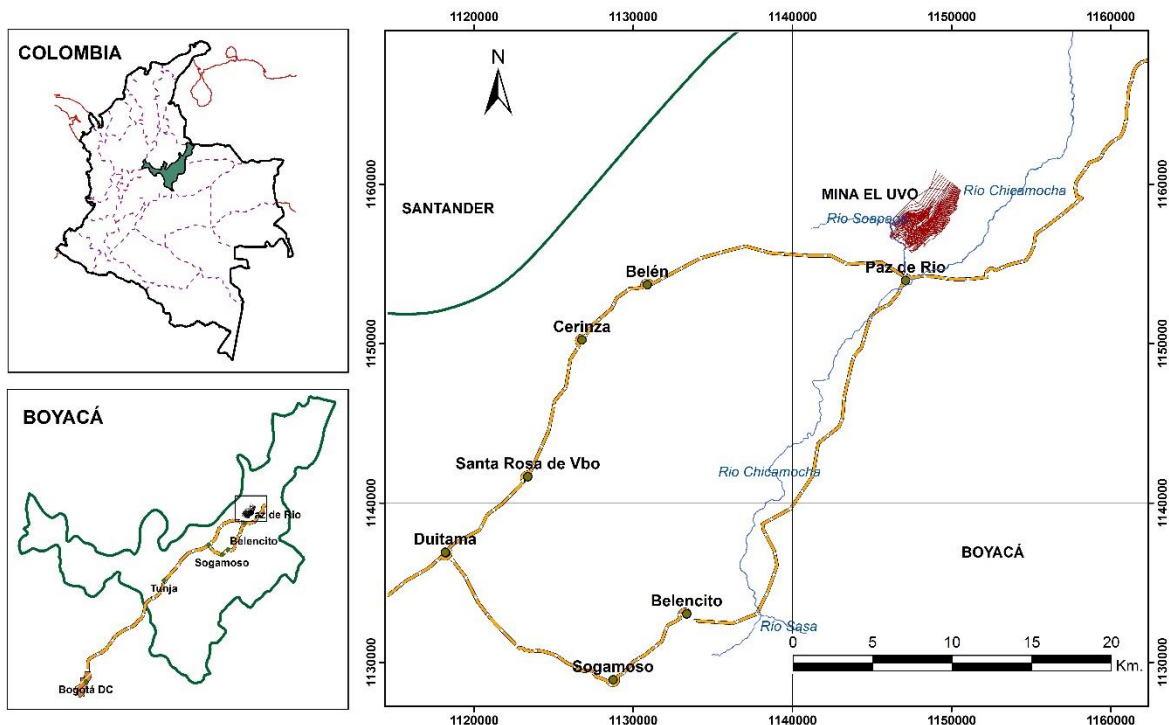
3.1. GENERALIDADES

3.1.1. Localización y vías de acceso

La mina de hierro bajo tierra El Uvo está localizada en el municipio de Paz de Río, en la región Norte del departamento de Boyacá, a 90 Km de la planta siderúrgica de Belencito. Esta mina hace parte del bloque denominado El Uvo, dentro del título minero 006-85M adquirido por la empresa Minas PazdelRío S.A.

La principal vía de acceso es la carretera pavimentada que comunica los municipios de Sogamoso – Duitama – Santa Rosa de Viterbo – Cerinza – Belén - Paz de Río. (Figura 1). Otra vía de acceso es la carretera parcialmente pavimentada que comunica los municipios de Sogamoso, Corrales, Tasco y Paz de Río.

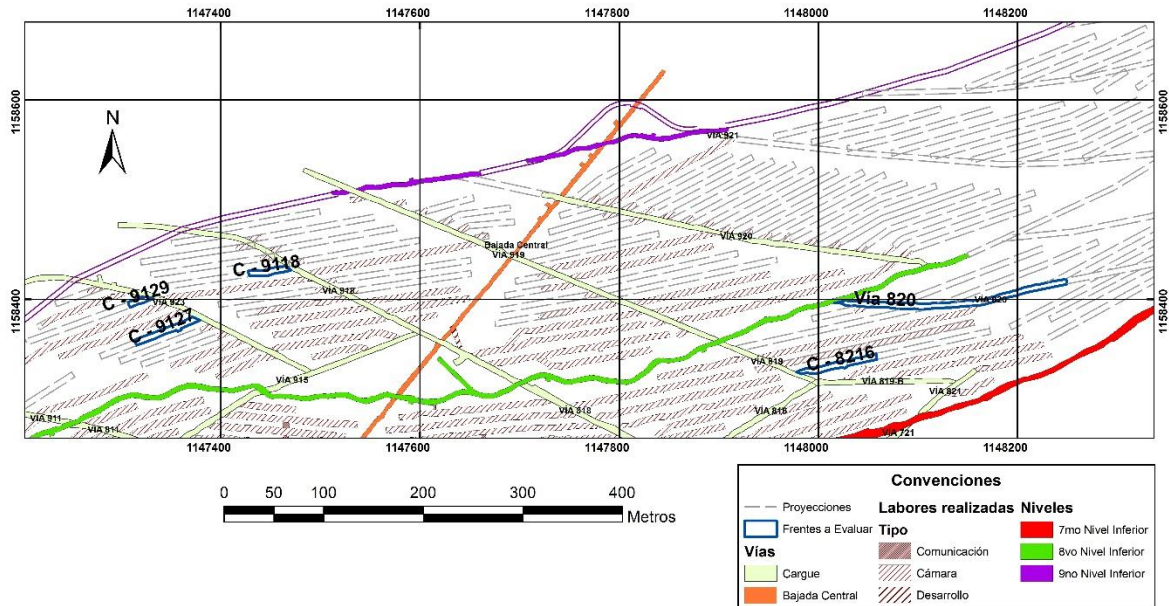
Figura 1. Localización mina de hierro El Uvo.



Fuente: Autor.

Los frentes a evaluar están ubicados entre el Octavo y Noveno Nivel Inferior de la mina subterránea El Uvo, comprenden 4 cámaras y una vía (Figura 2).

Figura 2. Frentes de explotación a evaluar.



Fuente: Minas PazdelRío S.A., modificado por el autor.

3.1.2. Hidrografía

El área de estudio hace parte de la cuenca del río Chicamocha, el cual controla la hidrografía de la zona y cuyos afluentes principales son el río Soapaga y la quebrada El Salitre. Algunos drenajes secundarios que lindan con la mina El Uvo son la quebrada el Tobo y el chorro El Bun.

El aprovechamiento de agua de estos afluentes en sistemas de riego para cultivos es limitado; pues debido a que la región presenta tendencias secas, la actividad agrícola es muy escasa.

3.1.3. Clima y precipitación

Según información del EOT (2012) del municipio de Paz de Río, se presentan dos periodos lluviosos, el primero entre Abril y Mayo y el segundo entre Octubre y Noviembre, los cuales son intercalados con periodos secos. En general, el municipio se caracteriza por tener bajos volúmenes hídricos y ser de tendencias

secas; según datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, la precipitación media anual registrada en la estación “Paz de Río” es de 1160 mm y la temperatura oscila entre los 10 y 20°C, catalogando la zona con clima frío seco.

3.1.4. Flora y fauna

La vegetación del área es escasa debido a la intervención del hombre en los bosques y la no repoblación de las especies; está constituida principalmente por especies nativas y exóticas, siendo estas últimas las más abundantes. La cobertura vegetal de los suelos es escasa debido en gran parte al efecto de la escorrentía y el viento, dejando los suelos expuestos al intemperismo.

Información del EOT municipal revela que las áreas de producción agrícola son muy escasas, predominando las zonas desprovistas de vegetación y expuestas a la erosión. La acción del hombre en el medio y la infraestructura creada para la explotación de recursos minerales, ha generado una migración de la fauna nativa. La ganadería es una actividad típica de la región aunque no es muy representativa.

3.2. MARCO GEOLOGICO

3.2.1. Geología regional

En el ámbito regional las rocas que afloran en la zona corresponden a la secuencia sedimentaria de la cuenca Paz de Río. El interés principal radica en la formación Concentración la cual contiene el banco de mineral de hierro explotado en la mina El Uvo. La formación está delimitada en la base por la formación Picacho y hacia el techo de manera discordante por depósitos cuaternarios.

3.2.1.1. Estratigrafía¹

Formación Picacho: Nombre dado por Alvarado y Sarmiento (1944) al conjunto potente de areniscas cuya sección tipo se encuentra a 1,5 Km al Noroeste del

¹ Alvarado B. y Sarmiento R. 1944. Geología de los yacimientos de hierro, carbón y caliza de la región de Paz de Río. En Ulloa et al, 1981. Geología de la plancha 172, Paz de Río, p 90.

municipio de Paz de Rio, formando el cerro de Picacho. Constituida principalmente por bancos de areniscas de grano fino a grueso y en ocasiones conglomeráticas. Se divide en dos miembros; el miembro inferior consta de bancos de arenisca de grano fino a grueso, de color blanco amarillento, ocasionalmente conglomeráticas y con impregnaciones de asfalto. El miembro superior está compuesto por un potente banco de areniscas pardas de grano medio a grueso, con un nivel conglomerático de guijarros de cuarzo dentro de una matriz arenosa bien seleccionada, con estratificación cruzada y marcas de oleaje.

El límite inferior de la formación es concordante con la Formación Socha Superior y el contacto superior es concordante con las areniscas ferruginosas y el banco de mineral de hierro de la Formación Concentración. La edad de esta formación según Van Der Hammen (1957) es del Eoceno Temprano.

Formación Concentración: Alvarado y Sarmiento (1944) denominaron así al conjunto de arcillolitas y areniscas intercaladas, con estratos de hierro oolítico, cuya sección tipo aflora a lo largo del río Soapaga, entre el caserío Concentración y el puente del Uvo, donde su espesor alcanza los 1400m según Reyes I. (1984), quien además dividió la formación en 2 miembros; el inferior donde predominan areniscas y algunos niveles esencialmente arcillosos, y el miembro superior principalmente arenoso.

Su contacto inferior es concordante con las areniscas de la Formación Picacho, mientras que su contacto superior es siempre discordante con los depósitos cuaternarios. Van Der Hammen (1957), le asigna una edad de Eoceno medio a Oligoceno medio, basado en el contenido de polen encontrado en varios horizontes de la formación.

3.2.1.2. Tectónica²

Anticlinal del Chicamocha: El anticlinal del Chicamocha es un pliegue asimétrico afectado por numerosas fallas y fuertes cabeceos axiales que lo desmiembran en pequeñas estructuras de desarrollo limitado. Sin embargo el flanco occidental se puede seguir desde el sur de Sogamoso hasta la región de Sativanorte. El área de la cresta del anticlinal se halla desmantelada por la erosión, siendo la sede actual del Río Chicamocha entre Belencito y Socha.

² Ulloa M, et al, 1998. Geología de la Plancha 172, Paz de Rio, p 97.

Sinclinal de Chicamocha: Localizado desde el sur de Sogamoso hasta la región de Sátiva Norte, a lo largo de la línea de ferrocarril. Presenta una dirección N20°E, su eje sigue la dirección de la cuenca del río Chicamocha. Sus flancos están limitados por fallas normales al este por la falla El Cucharo y al occidente por la falla de Fávita. Es un pliegue amplio con buzamientos de los flancos entre 5 y 15° con núcleo en la Formación Concentración.

Falla de Soapaga: Constituye el principal rasgo tectónico regional; pone en contacto la Formación Concentración con rocas del Cretáceo medio de la Formación Une. Su comportamiento es de tipo inverso, con orientación NNE-SSW y plano de falla que buza hacia el occidente con una inclinación entre 20° y 30°.

3.2.2. Geología local

El bloque del Uvo está limitado hacia el occidente por la falla de Soapaga, al oriente por los afloramientos de hierro, al norte por las labores mineras de El Uche y Pirgua y al sur por las labores mineras de La Mesa. En este bloque se lleva a cabo actualmente la minería subterránea de El Uvo, además están ubicadas las minas de hierro a cielo abierto de El Uche y Pirgua. Este bloque está afectado por las fallas de Buenos Aires, El Salitre y Sibaría, además del anticlinal de Buenos Aires. En el bloque afloran las series inferiores de la Formación Concentración (Toc), por lo cual la formación en este bloque alcanza un espesor aproximado de 845m con una extensión de 15´880.000 m². Los espesores del mineral varían de 2 a 7m dentro de la mina, con una inclinación que varía entre 14° y 45°.

3.2.2.1. Estratigrafía³

Las labores mineras de la Mina El Uvo se desarrollan dentro de la formación Concentración, la cual ha sido dividida por Reyes I. 1984, en dos miembros donde identifica nueve series descritas a continuación:

Formación Concentración:

Miembro Inferior

Este miembro alcanza un espesor total aproximado de 650m, donde predominan areniscas y zonas esencialmente arcillosas.

³ Reyes, I. 1984. Geología de la Región Duitama-Sogamoso-Paz de Río, Boyacá, p. 50.

Serie El Salitre (C1). Es la base de toda la formación, constituida por un banco de mineral de hierro oolítico muy característico de espesor entre 3 y 8 m, seguido por arcillolitas negruzcas, piríticas y con rastros carbonosos de vegetales. Presenta abundantes cristales y laminillas de yeso.

Serie Puerta de Golpe (C2). Constituida principalmente por una sucesión de 10 bancos de arenisca masiva, con estratificación cruzada muy regular intercalada con niveles de arcillolitas pizarrosas de color gris de 5 a 10 m de espesor.

Serie Carraco (C3). Predominan arcillas pizarrosas con pocas intercalaciones de bancos delgados de arenisca. Frecuentemente se presentan niveles delgados de silita con pirita y abundantes cristales y costras de yeso, especialmente hacia la parte media de la unidad.

Serie La Loma (C4). La serie está marcada por una cinta de carbón que pasa lateralmente a arcilla carbonosa. En la parte superior se presentan areniscas conglomeráticas generalmente cuarzosas de grano fino.

Serie Paz Vieja (C5). La parte inferior está constituida por 70m de arcillolitas físis grises con algunas intercalaciones delgadas de areniscas hacia la base. La parte superior se constituye de 5 bancos de areniscas amarillentas de grano medio a grueso con espesores de 2 a 6m intercaladas con arcillolitas blandas.

Miembro Superior

El miembro superior es principalmente arcilloso, aunque no presenta unidades estratigráficas bien definidas.

Serie Quebrada Colorada (C6). Consta de 10 a 12 bancos de areniscas de 2 a 3 m de espesor, de grano fino, compactas, con frecuentes marcas de oleaje, intercaladas con arcillolitas físis de 5 m de espesor. En algunos sectores la arenisca puede ser conglomerática, con guijos de cuarcita blanca y trozos de madera fósil.

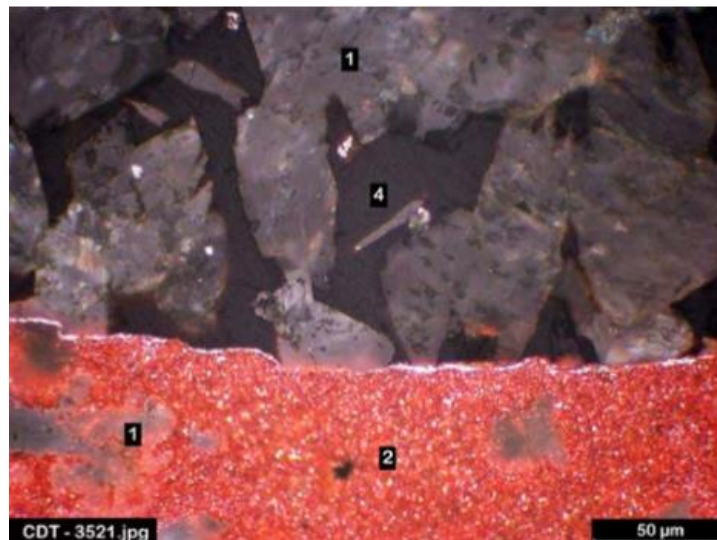
Serie Quebraditas (C7). La parte inferior de esta serie presenta algunos bancos de arenisca de grano fino, intercalado con arcillas físis grises. La parte superior está caracterizada por dos bancos potentes de arenisca de 3 a 4 m de espesor.

Serie Socotacito (C8). Compuesta principalmente por arcillolitas. La parte inferior son arcillolitas verdosas y por encima de esta son rojizas. En la parte media aparece un banco de 3m de arenisca de grano fino a medio, friables con estratificación cruzada.

Serie Paloquemado (C9). Es una secuencia de estratos de areniscas verdosas de grano fino con intercalaciones delgadas de arcillas verdosas y frecuentes concreciones de sílice.

Mineral de hierro: El banco de mineral de hierro explotable está localizado en la serie El Salitre (C1) y según Reyes I. y Valentino M.T. 1976, en su publicación “Geología del yacimiento y variabilidad de las características geoquímicas del mineral de hierro en la región de Paz Vieja, Municipio de Paz de Río, Boyacá”, los oolitos se formaron por la precipitación química de óxidos solubles de hierro en un medio acuífero de poca profundidad en el cual se depositaron, primero los fragmentos de cuarzo angular y el material suspendido, luego se hicieron los oolitos por saturación del hidróxido de hierro coloidal en presencia de materia orgánica.

Fotografía 1. Matriz de oolitos en contacto con siderita y bitumen como material cementante.

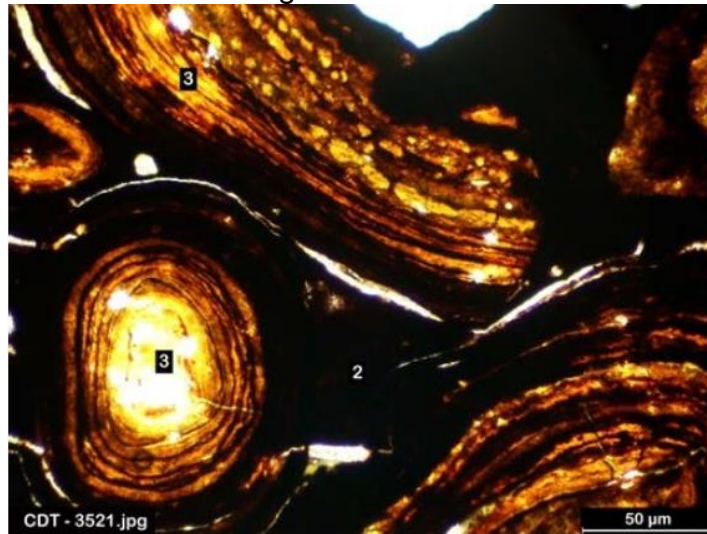


Fuente: Datos de estudio

A medida que se precipitaba el hierro, iba formándose alrededor un núcleo del cual se depositaron las capas concéntricas de los oolitos, explicando así la distribución del banco limitado por la extensión que tuvo el lago o pantano dónde

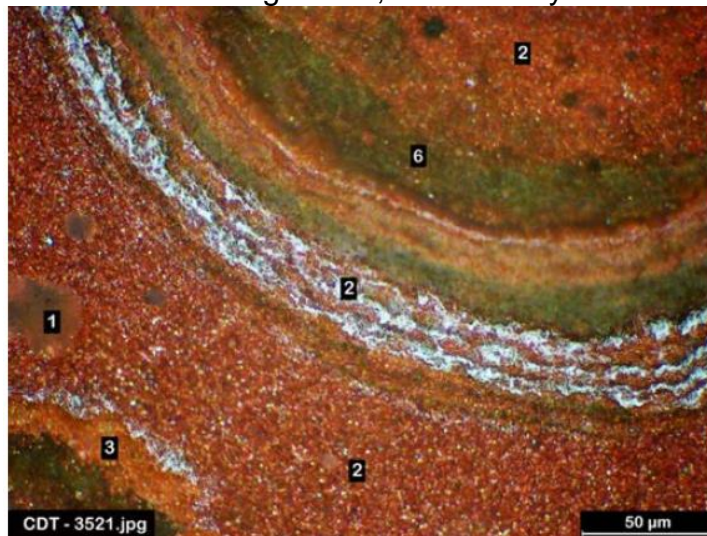
se sedimentó concordante con las capas arenosas y arcillosas que lo subyacen y suprayacen; esto explica además, por qué el banco mineralizado no es uniforme sino que se hace más silíceo y pobre en hierro hacia los bordes de la cuenca, donde la poca profundidad y el oleaje dificultaron la sedimentación de los oolitos.

Fotografía 2. Oolitos con anillos de goethita.



Fuente: Datos de estudio.

Fotografía 3. Oolito con anillos de goethita, chamosita y siderita.



Fuente: Datos de estudio.

3.2.2.2. Tectónica⁴

A nivel local en el bloque El Uvo pueden identificarse estructuras originadas por procesos de deformación, producto de las últimas etapas de actividad tectónica de la orogenia andina.

Anticlinal de Buenos Aires: Es un pliegue asimétrico con dirección NNE-SSW y cabeceo de 13°, cuyo flanco occidental presenta buzamientos que llegan hasta los 35°W y su flanco oriental se caracteriza por tener buzamientos promedios de 23°E. Esta estructura se extiende desde el sector La Mesa hasta el caserío de Paz Vieja, y se encuentra limitado al Sur por la falla que lleva el mismo nombre.

Sinclinal del Salitre: Este pliegue asimétrico es la continuación estructural del anticlinal de Buenos Aires, tiene una dirección de N15°E y un cabeceo de 11°NW. En el flanco occidental presenta una orientación de N15°-25°W y buzamiento entre 25° y 40° E, en su núcleo presenta buzamientos entre 9° y 12°E, en el flanco oriental presenta una dirección de N70°-84°E buzando 30°W. Esta estructura se encuentra limitada por la falla de Buenos Aires al norte y la Falla El Salitre al sur.

Falla de Buenos Aires: Es una falla de tipo inverso de dirección N40°E buzando 50°NW con un salto vertical de 75m, produciendo el levantamiento del bloque de mineral, tiene una extensión de 7.5 km dentro del área de contrato la cual se intersecta con la falla de Sativa hacia el norte. Esta falla es de gran importancia ya que delimita el bloque Buenos Aires en la mina de hierro El Uvo, en el sector Norte de la misma.

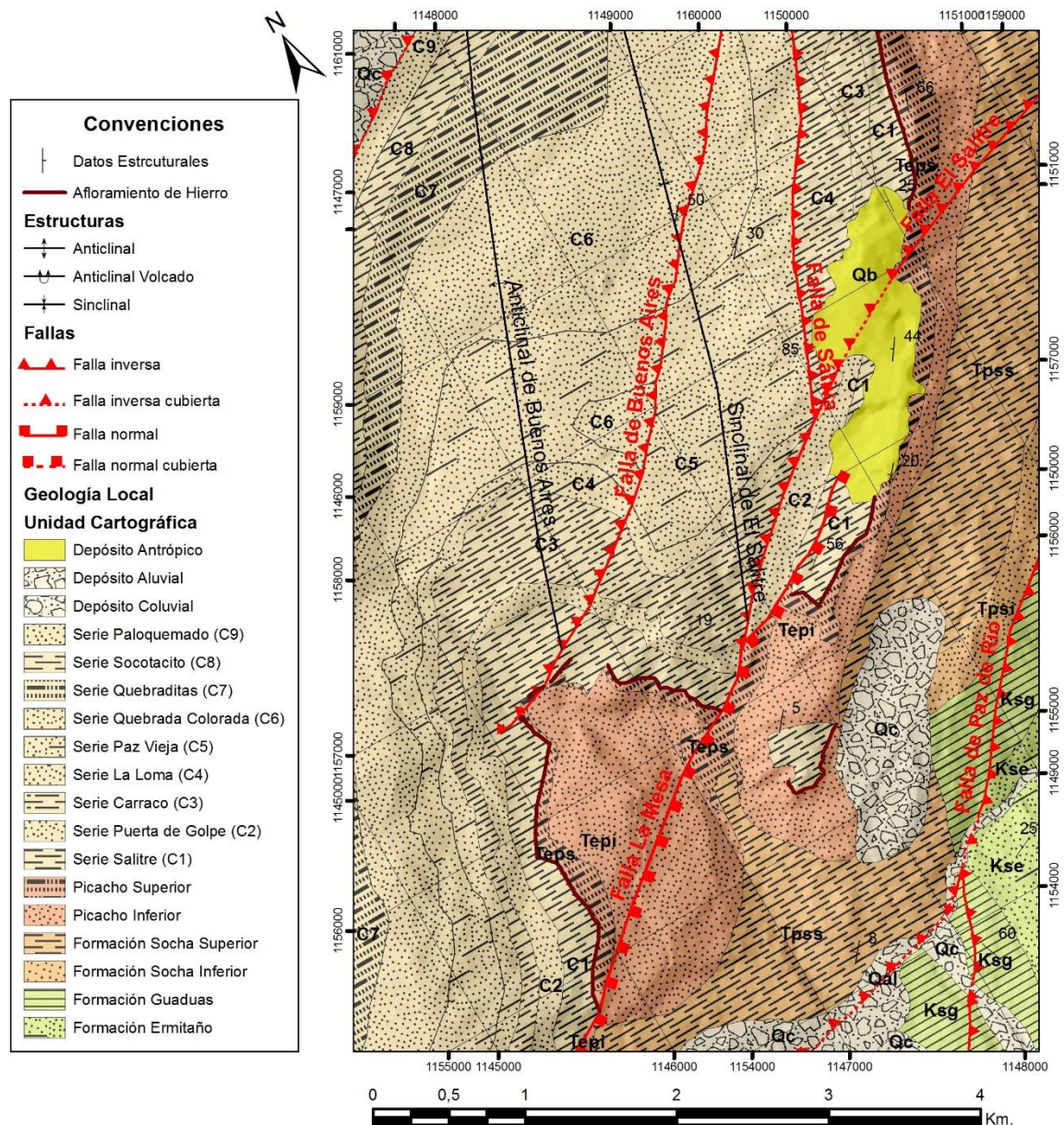
Falla El Salitre: Falla de tipo inverso de dirección aproximada N30-40E buzando 50NW y extensión de 4 km aproximadamente dentro del título 006-85M, que se comprobó con los trabajos mineros de bajo tierra. Tiene un desplazamiento vertical aproximado de 100 metros, poniendo en contacto el mineral de hierro de la formación Concentración en el bloque colgante con la secuencia arcillosa de la serie El Salitre en el bloque yacente.

Falla de Sibaría: Falla de tipo inverso con dirección N40-50E buzando al SE, falla paralela a las anteriores, parece ser el límite de los bloques mineros de bajo tierra; de acuerdo a las perforaciones, es de tipo inverso y su desplazamiento vertical

⁴ Ibíd., p. 75.

oscila entre los 150 y 200 metros, al oriente de este bloque se desarrolló la mayor parte de la minería a cielo abierto como son los bloques de Coloradales y El Uche. Pone en contacto la base de la formación concentración con la parte inferior de la formación Picacho.

Figura 3. Mapa geológico local.



Fuente: Minas PazdelRío S.A., modificado por el autor.

3.2.3. Explotación del mineral de hierro

La Mina El Uvo, abarca una extensión aproximada de 5 Km². La profundidad de las labores oscila entre 150m y 800m, medidos desde la topografía actual en superficie y comprende 9 niveles de explotación.

El mineral de hierro tiene un espesor que varía entre 2 y 7 m dentro de la mina, con una inclinación entre 14° y 45°. La extracción del mineral de hierro en la mina El Uvo se lleva a cabo desde hace 60 años, mediante el método de explotación de cámaras y pilares para buzamientos del banco de mineral menores a 20° aproximadamente y por tambores paralelos cuando el buzamiento es mayor.

El factor de seguridad en el dimensionamiento de las cámaras y los pilares de sostenimiento del techo ha sido calculado evaluando la resistencia del pilar respecto al campo de esfuerzos que actúan sobre éste. Los factores de seguridad recomendados para los pilares son de 2,0 como factor de diseño y 1,5 para construcción.⁵

De acuerdo a lo anterior, se tiene el siguiente dimensionamiento para las labores bajo tierra de la mina de Hierro El Uvo:

Tabla 1. Dimensiones de labores bajo tierra para la Mina El Uvo.

F.S.	Ancho del Pilar	Altura del Pilar	Ancho de Cámara
1,5 (Construcción)	12,5 m	4,0 m	7,0 m

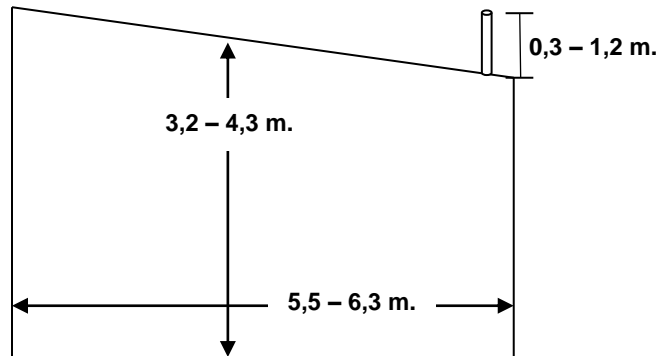
Fuente: Minas PazdelRío S.A.

Las dimensiones de las labores actuales en la mina El Uvo, corresponden a un factor de seguridad de 1,5 (Construcción). Como es normal, dichas dimensiones pueden presentar ligeras modificaciones debido a las condiciones de trabajo o a causa de factores como el cambio en el espesor del manto de mineral, la intersección de las labores con fallas, o una disminución en la calidad del macizo rocoso; todo esto implica que las secciones sean modificadas para garantizar condiciones de trabajo seguras.

⁵ Tomado de estudio geotécnico Mina El Uvo. Metodología según Obert Duvall y Wang.

En la figura 4 se muestra una sección típica de las cámaras de explotación ubicadas entre el Octavo y Noveno Nivel Inferior con las variaciones que pueden presentarse en las dimensiones.

Figura 4. Esquemas de frentes de explotación.



Fuente: Minas PazdelRio S.A., adaptado por autor.

3.3. ESTUDIOS ANTERIORES

Varios autores han hecho planteamientos acerca de la geología de la región de Paz de Rio y la descripción del yacimiento de mineral de hierro. Otros estudios realizados en esta zona corresponden a los ejecutados por la empresa Minas PazdelRio S.A. para la búsqueda de hierro, carbón y caliza; materias primas para la producción de acero.

A continuación se enuncian de manera general algunos autores de estudios realizados en el área de interés:

1. Alvarado B. y Sarmiento R. (1944), realizaron el primer estudio de la región, dentro de un área de 500 km², donde se realizó una exploración detallada de los afloramientos de La Mesa, El Uvo, Coloradales y El Uche.
2. Reyes I. (1965), fijó una nueva situación estructural del banco de mineral de hierro.
3. Reyes I. (2001), asume un modelo estructural de cordillera, el cual corresponde al clásico modelo de frentes de cabalgamiento de avance

indicando que las Fallas de Soapaga y Boyacá hacen parte del sistema imbricado oriental de la Cordillera Oriental.

4. La empresa Minas PazdelRío S.A., en 2015 concluyó el programa de exploración geológica en el área de Paz de Río, en el cual se establecen las características del yacimiento de mineral de hierro en los bloques de interés económico para la empresa, incluido el bloque El Uvo.
5. Actualmente la empresa Minas PazdelRío S.A está realizando el Estudio Geomecánico de la Mina El Uvo, cuyo objetivo es evaluar las labores existentes para diseños futuros.

4. METODOLOGIA PARA EVALUAR LA CONDICIÓN GEOTÉCNICA

En el presente trabajo se evalúa la condición geotécnica de 5 labores mineras activas localizadas entre el octavo y noveno nivel inferior de la mina bajo tierra El Uvo. En la siguiente tabla se enuncian algunos datos importantes de las labores a evaluar:

Tabla 2. Dimensiones promedio de labores mineras evaluadas.

Labor	Ancho	Altura	Dirección
Vía 820	5,60 m	3,20 m	N 78 E
Cámara 8216	6,00 m	3,40 m	N 76 E
Cámara 9118	5,90 m	4,20 m	S 75 W
Cámara 9127	6,00 m	4,20 m	S 65 W
Cámara 9129	6,00 m	4,00 m	S 73 W

Fuente: Minas PazdelRío S.A.

La metodología de trabajo para determinar la condición geotécnica de las labores mineras descritas en la tabla 2 se describe a continuación:

4.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Comprende la compilación de información geológica, geotécnica y demás recursos bibliográficos y estudios realizados en la mina El Uvo. En esta etapa también se realiza la recolección de datos de campo para la caracterización de discontinuidades en los frentes que son objeto de estudio.

Los datos de rumbo y buzamiento fueron tomados con brújula tipo Brunton, tomando además una localización aproximada de las discontinuidades midiendo con flexómetro la distancia del punto de registro a los puntos de control topográfico que se tienen dentro de cada labor minera. En cada labor se cuenta con puntos de control topográfico que corresponden a levantamientos para trazar y proyectar los ejes de los túneles, y hacer seguimiento de los avances de la labor.

De ésta manera, sobre los mapas topográficos se calcularon las coordenadas de registro de discontinuidades en el software ArcGis 10.1.

Fotografía 4. Toma de datos estructurales de discontinuidades.



Fuente: Autor.

Los valores de persistencia, separación entre diaclasas, y abertura fueron tomados con flexómetro. Se tomaron datos de resistencia a compresión in situ con el martillo Schmidt y adicional a esto se tienen ensayos de resistencia al corte realizados en labores aledañas.

El registro de datos de discontinuidades levantados en cada labor minera con su respectiva localización y características se muestra en el anexo A.

Fotografía 5. Medición in situ de resistencia con el martillo Schmidt.



Fuente: Autor.

La tabla 3 muestra la resistencia a la compresión in situ medida sobre los planos de discontinuidades.

Tabla 3. Resistencia de los planos de discontinuidad tomados con el Martillo Schmidt.

LABOR	DISCONTINUIDADES			
	Índice de Rebote	Desviación	fck min. (MPa)	fck max. (MPa)
Vía 820	26	6,00	22,56	28,56
Cámara 8216	25	6,00	20,82	26,82
Cámara 9118	28	6,50	25,55	32,05
Cámara 9127	26	6,00	22,56	28,56
Cámara 9129	25	6,00	20,82	26,82

Fuente: Autor.

*fck min: Resistencia Mínima.

*fck máx: Resistencia Máxima.

4.2. ANALISIS DE DISCONTINUIDADES

Las discontinuidades son catalogadas como planos a lo largo de los cuales se interrumpe la estructura de las rocas y comprende diaclasas, fallas, planos de estratificación, foliación, etc. Estas discontinuidades pueden ser representadas geométricamente con la dirección de rumbo y buzamiento para analizar su influencia en el comportamiento del macizo rocoso.

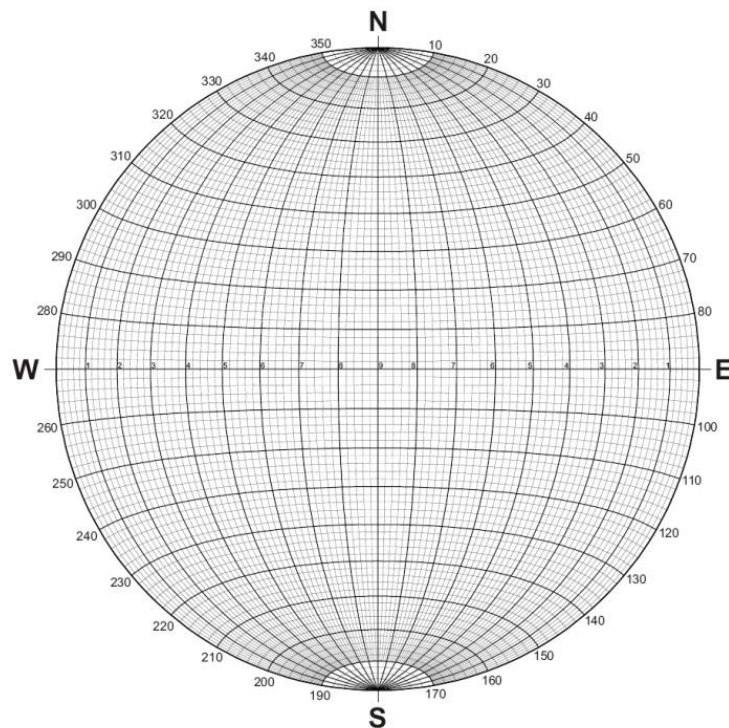
Para poder realizar el análisis tridimensional de las discontinuidades se necesita hacer la proyección de las mismas en un plano bidimensional, para lo cual existen 2 tipos de proyecciones esféricas conocidas: la red estereográfica de Lambert o Schmidt y la proyección de Wulff. Varios autores como Goodman, 1976; Piteau y Peckover, 1978; Hoek y Brown, 1980, han aplicado ambos métodos llegando a la conclusión de que estos son idénticos y no hay inconvenientes en utilizar uno u otro. Según Hoek y Brown, 1980, la única limitación que existe es que, al iniciar el análisis con cualquiera de los sistemas, éste deberá emplearse hasta el término del proyecto. Por lo anterior, en el presente trabajo se utiliza la proyección estereográfica de Lambert o Schmidt.

El conjunto de datos de rumbo y buzamiento es analizado estadísticamente y representado en la esfera o red de proyección acimutal equiareal de Schmidt. Esta proyección equiareal o de conservación de áreas proyectadas, es la usada en geología estructural ya que permite una evaluación estadística de datos geológico-geométricos; a diferencia de la proyección equiangular la cual se basa en la conservación de ángulos iguales y es más apropiada en cristalografía.

A través de la representación del rumbo y buzamiento, la red de proyección de Schmidt, permite la restitución perfecta de la relación espacial de las discontinuidades.

La evaluación estadística de las discontinuidades se realiza a través de la representación de los polos y la intersección entre estas se hace por medio de los círculos máximos. Con estos diagramas, se pueden agrupar las discontinuidades en familias, determinar la dispersión de las discontinuidades dentro de las familias y definir las orientaciones preferenciales promedio de cada una de ellas.

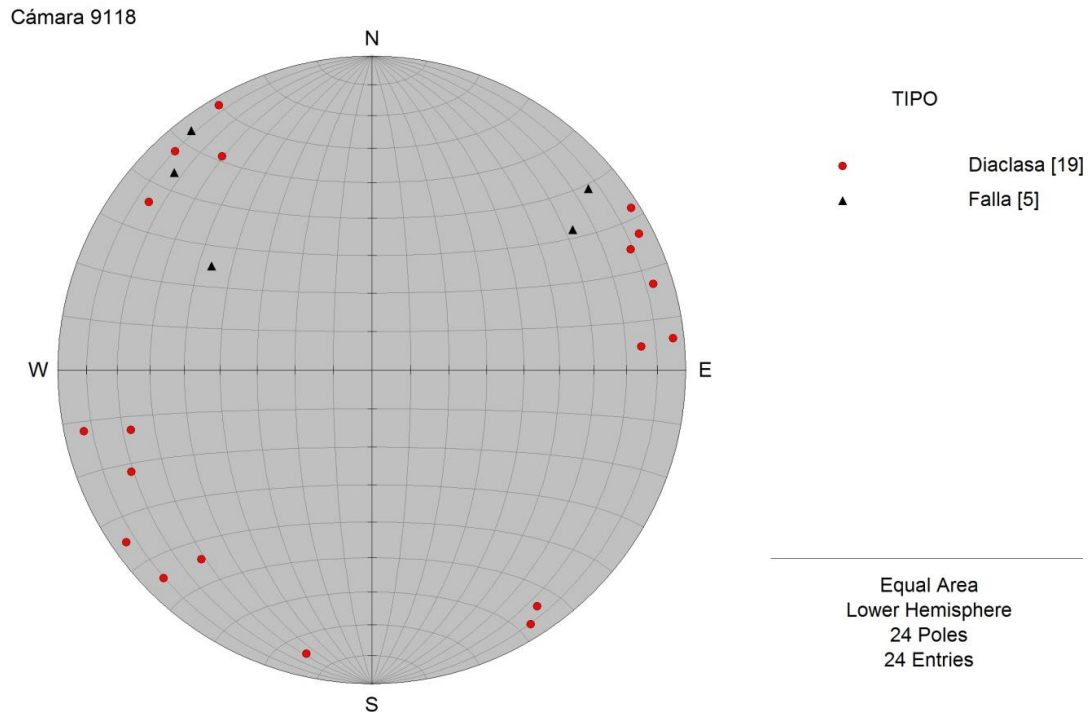
Figura 5. Red de proyección equiareal de Schmidt.



Fuente: Red de proyección estereográfica de Schmidt.

Los datos de campo de las discontinuidades de los frentes evaluados fueron procesados en el Software Dips 5.1 de RocScience para realizar el análisis estadístico. Este Software permite graficar los datos sobre la red de Schmidt para generar el diagrama de polos, el diagrama de conteo y la frecuencia estadística de las discontinuidades.

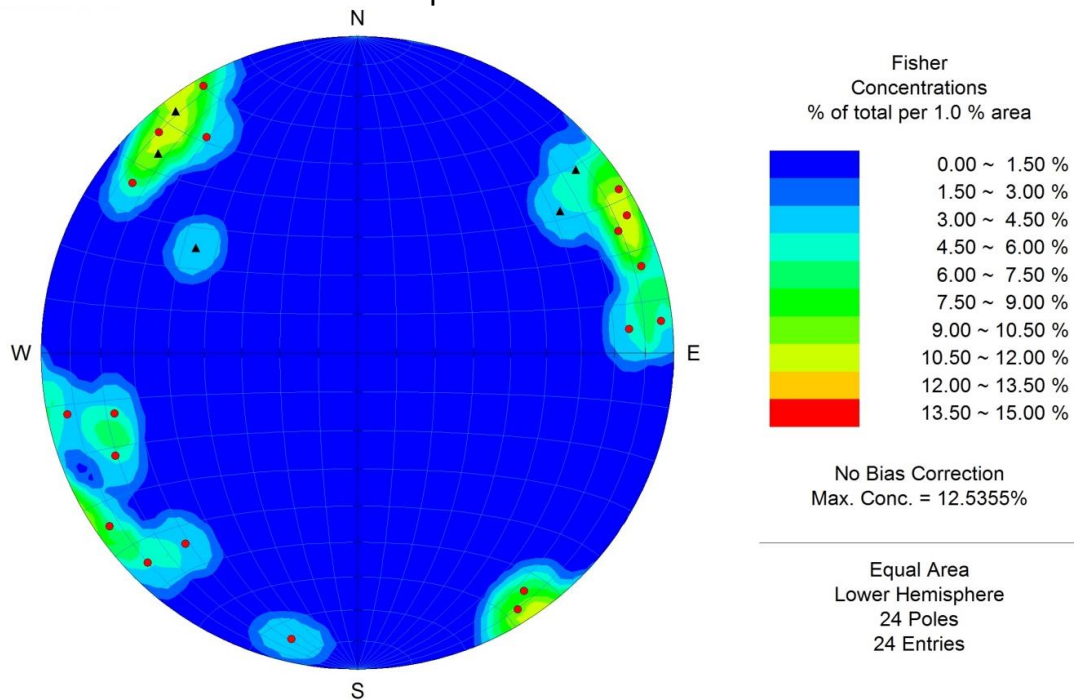
Figura 6. Diagrama de polos para la Cámara 9118.



Fuente: Procesamiento de datos en software Dips 5.1.

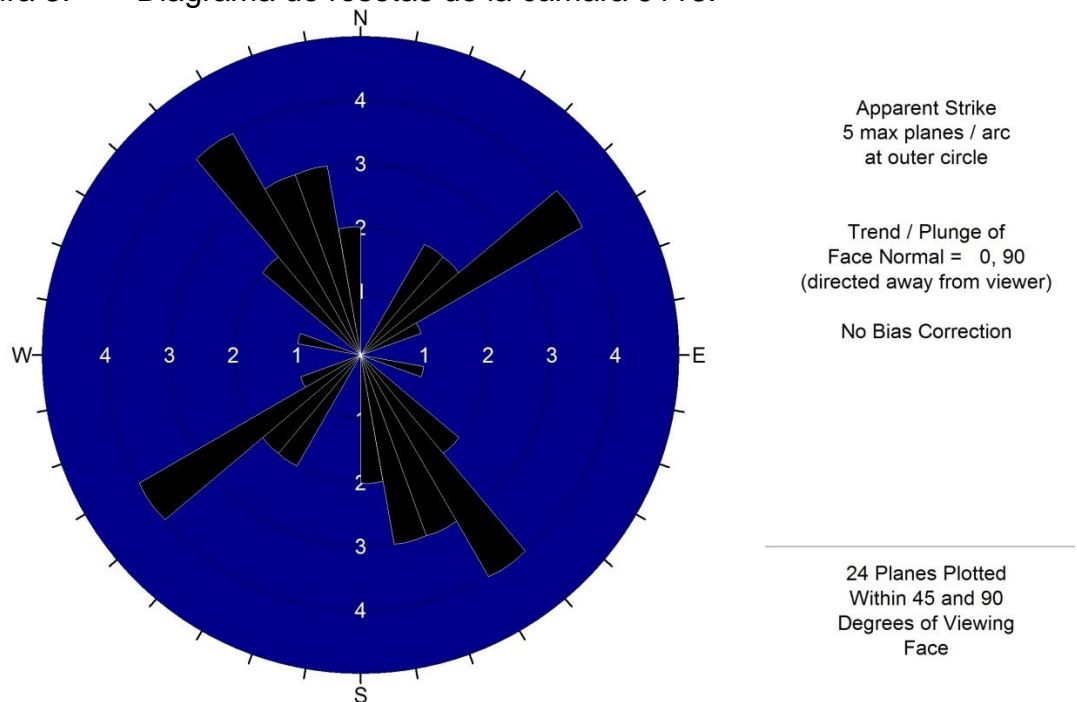
Cada polo representa una de las discontinuidades medidas en los túneles. A cada zona de máxima concentración de polos se asocia una familia de discontinuidades, con un rumbo y buzamiento determinado, el cual será el valor promedio de toda la nube de polos.

Figura 7. Concentraciones de polos. Cámara 9118.



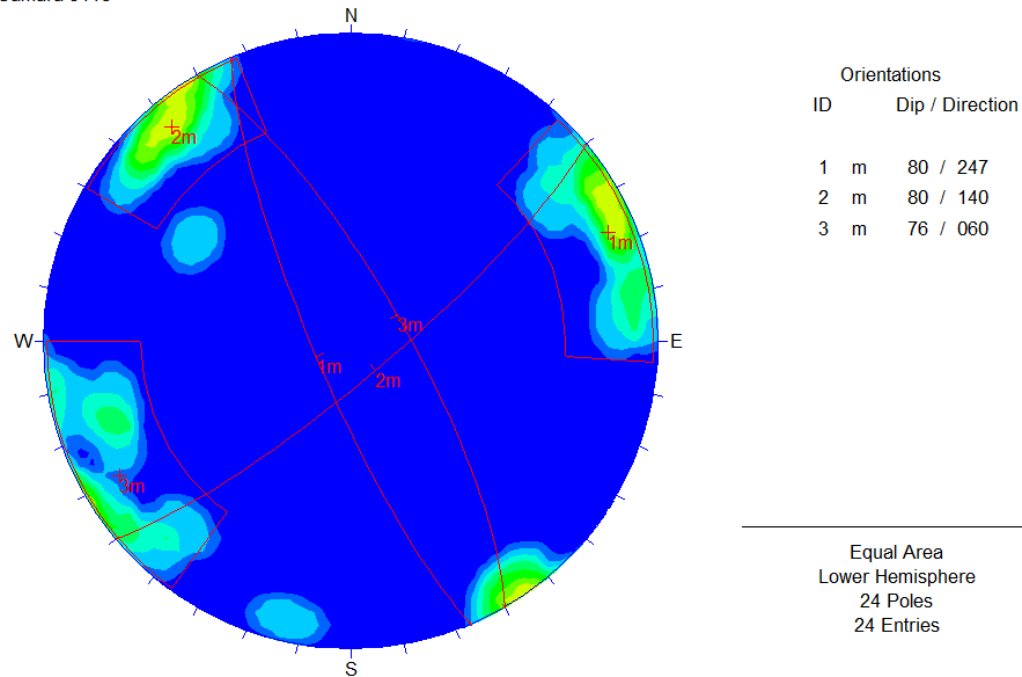
Fuente: Procesamiento de datos en software Dips 5.1

Figura 8. Diagrama de rosetas de la cámara 9118.



Fuente: Procesamiento de datos en software Dips 5.1.

Figura 9. Planos de orientaciones principales.
Cámara 9118



Fuente: Software Dips 5.1

Con este mismo procedimiento se calculan las direcciones preferenciales de las familias de discontinuidades en cada frente objeto de evaluación, las cuales se muestran en la tabla 9 y 10 del Capítulo de Resultados.

4.3. CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Para la clasificación del macizo rocoso se utilizó la clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating), desarrollada por Bieniawski en 1973, la cual va orientada a excavaciones subterráneas y fue modificada en años posteriores por el mismo autor. Actualmente se usa la clasificación RMR de 1989, que coincide con la de 1976 y evalúa 6 parámetros⁶.

⁶ Bieniawski, Z. T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Ed. Wiley. New York, vol1. En González de Vallejo, et al. Ingeniería geológica. Ed. Pearson, Madrid, 2002.

Tabla 4. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR (BIENIAWSKI, 1989)									
1	RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA (Mpa)	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL	>10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	COMPRESION SIMPLE (Mpa)		
		COMPRESION SIMPLE	>250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25-5	5-1	< 1
	PUNTUACION		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%		
	PUNTUACION		20	17	13	6	3		
3	SEPARACION DE DISCONTINUIDADES		>2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2m	< 0,06 m		
	PUNTUACION		20	15	10	8	5		
4	ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	<1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		ABERTURA	Nada	<0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		RUGOSIDAD	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave (Espejo de Falla)		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		RELLENO	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		ALTERACION	Inalterada	Ligeramente Alterada	Moderadamente Alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	AGUA FREATICA	CAUDAL POR 10m DE TUNEL	Nulo	< 10 lts/min	10 - 25 lts/min	25 - 125 lts/min	> 124 lts/min		
		RELACION PRESION DE AGUA/TENSION PRINC. MAYOR	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	>0,5		
		ESTADO GENERAL	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	PUNTUACION		15	10	7	4	0		
6	ORIENTACION DE DISCONTINUIDADES	Dirección y Buzamiento	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
		TUNELES	0	-2	-5	-10	-12		
		CIMENTACION	0	-2	-7	-15	-25		
		TALUDES	0	-5	-25	-50	-60		
CLASIFICACION		CLASE	I	II	III	IV	V		
		CALIDAD	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala		
		PUNTUACION	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20		

CORRECCIÓN POR LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL						
Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buz 0 - 20°. Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buz 45 - 90°	Buz 20 - 45°	Buz 45 - 90°	Buz 20 - 45°	Buz 45 - 90°	Buz 20 - 45°	
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Desfavorable

Fuente: Bieniawski, Z. T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Ed. Wiley. New York, vol1. En González de Vallejo, et al. Ingeniería geológica. Ed. Pearson, Madrid, 2002.

En relación a esta clasificación, pueden estimarse de manera preliminar los parámetros mecánicos del macizo rocoso de acuerdo a lo propuesto por Bieniawski, 1989:

Tabla 5. Parámetros mecánicos del macizo rocoso en relación al índice RMR.

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100 – 81	> 4 Kg/cm ²	> 45°
II	Buena	80 – 61	3 – 4 Kg/cm ²	35° – 45°
III	Regular	60 – 41	2 – 3 Kg/cm ²	25° – 35°
IV	Mala	40 – 21	1 – 2 Kg/cm ²	15° – 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 Kg/cm ²	< 15°

Fuente: Bieniawski, Z. T. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. Ed. Wiley. New York, vol1. En González de Vallejo, et al. Ingeniería geológica. Ed. Pearson, Madrid, 2002.

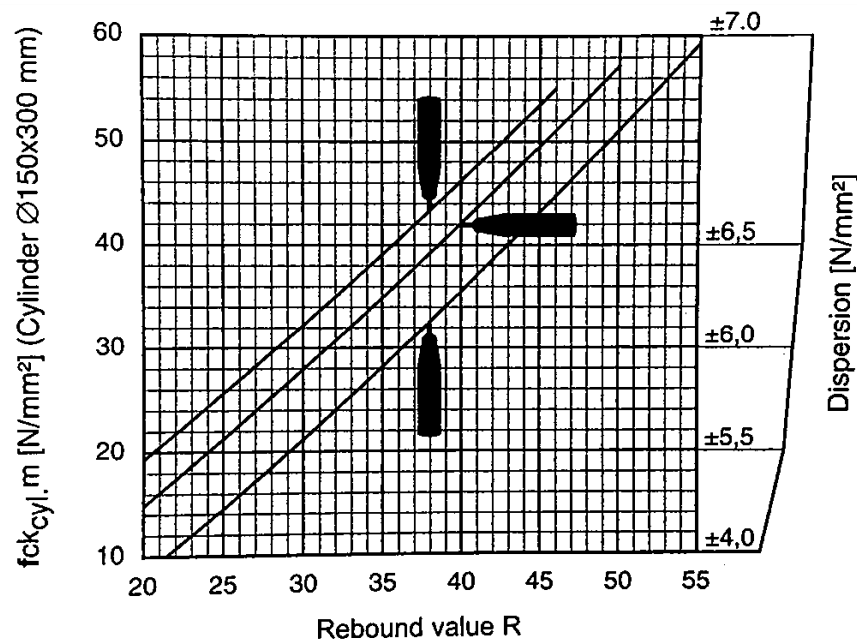
A continuación se describen los parámetros evaluados en la clasificación RMR y la obtención de cada uno para el presente estudio:

1. La resistencia de la matriz rocosa, la cual puede ser estimada in-situ mediante índices de campo a partir de ensayos de carga puntual (PLT) o el martillo Schmidt. Para este estudio se realizaron pruebas con el martillo Schmidt en los frentes evaluados y esta información se correlacionó con resultados de ensayos de carga puntual y compresión simple, ejecutados

anteriormente por la empresa en diversas campañas de muestreo de las labores mineras.

La resistencia a la compresión in situ de la matriz rocosa fue calculada con la gráfica correspondiente al modelo de martillo utilizado y de acuerdo a la desviación, se tomó el valor mínimo de resistencia por ser el más crítico en términos de evaluación. Los resultados de ensayos realizados con el Martillo Schmidt se muestran en la tabla 6.

Figura 10. Curvas de conversión del índice de rebote de campo. Modelo de martillo L/LR



Fuente: Test Hammer operating manual, model L/LR.

Tabla 6. Resultados del ensayo con el Martillo Schmidt.

Labor	Roca sana			
	Índice de Rebote	Desviación	fck min. (MPa)	fck max. (MPa)
Vía 820	38	7,00	42,48	49,48
Cámara 8216	37	7,00	40,73	47,73
Cámara 9118	42	7,50	48,95	56,45
Cámara 9127	45	7,50	54,18	61,68
Cámara 9129	42	7,50	48,95	56,45

Fuente: Autor.

***fck min: Resistencia Mínima.**

***fck máx: Resistencia Máxima.**

Se evidencia que los valores mínimos de resistencia a la compresión simple del mineral de hierro en los frentes de explotación evaluados de la Mina El Uvo se encuentran en el rango de 25 a 50 MPa, calificando la roca como moderadamente dura (R3)⁷ y con una puntuación de 4 dentro de la clasificación RMR.

2. El RQD (Rock Quality Designation), indica el grado de fracturamiento del macizo rocoso y se mide generalmente en núcleos de perforación como la relación entre la sumatoria de los fragmentos de roca de longitud mayor o igual a 10 cm y la longitud total perforada.

El índice RQD fue determinado por medición en núcleos de la perforación vertical PH_01 con 52,55m de longitud, realizada por Minas PazdelRío S.A. en el bloque El Uvo. En este sondeo el índice RQD es de 34,9%, que lo cataloga como un macizo muy fracturado y por ende se le asigna una calificación de 6 en la clasificación RMR. Por razones de confidencialidad el registro de ésta perforación no se muestra en éste trabajo.

3. Espaciamiento de las discontinuidades, considerado como la separación en metros entre las discontinuidades principales. Estos datos fueron tomados a lo largo de cada frente evaluado.
4. Estado de las discontinuidades, donde se hace alusión a parámetros como persistencia, abertura, rugosidad, relleno y alteración de las paredes de las discontinuidades.
5. La presencia de agua que puede ser evaluada a partir de 3 criterios: la condición general observada, el caudal en el túnel cada 10 metros y la relación entre la presión de agua y la tensión principal en la roca. Para este caso se evalúa a partir de la observación general en los túneles.
6. La orientación de las discontinuidades, que pueden ser favorables o desfavorables en relación con la orientación del eje del túnel.

⁷ International Society for Rock Mechanic's, ISRM, 1981.

Los parámetros 3, 4, 5 y 6 de la clasificación RMR, se determinan a partir de los datos de campo consignados en el anexo A y de acuerdo a esto se obtiene la clasificación RMR para cada frente evaluado como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Clasificación RMR de la cámara 9118.

CLASIFICACIÓN RMR CAMARA 9118			
PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN		RANGO	PUNTUACIÓN
1. Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)			
Compresión Simple		Entre 25 y 50	4
2. Índice RQD de la roca (%)			
RQD (%)		Entre 25 y 50	6
3. Separación entre Discontinuidades (m)		Entre 0,6 y 2m	15
4. Estado de las Discontinuidades			
Persistencia (m)		Entre 1 y 3m	4
Abertura (mm)		Entre 1 y 5mm	1
Rugosidad		Ligera. rugosa	3
Relleno		Blando <5mm	2
Alteración		Ligera. alterada	5
5. Agua freática			
Estado general		Seco	15
6. Orientación de discontinuidades			
Túneles		Regular	-5
TOTAL			50
CLASIFICACIÓN RMR			
CALIDAD	CLASE	COHESIÓN	ANGULO DE ROZAMIENTO
REGULAR	III	2 – 3 Kg/cm ²	25° - 35°

Fuente: Clasificación RMR Bieniawski, 1989, adaptada por autor.

4.4. ANALISIS DE ESTABILIDAD

Dado que el mecanismo de falla típico es en cuña, se realiza el análisis de estabilidad por el método de cuñas, modelado en el programa Unwedge 3.0 de RocScience a partir de las familias de diaclasas principales de cada labor minera en estudio.

La falla por cuña se produce cuando un bloque de roca se desliza a través de la intersección de 2 o más discontinuidades. Comúnmente con las excavaciones éstas líneas de intersección son descubiertas, exponiendo también los bloques en forma de cuña y aumentando la probabilidad de que estos fallen. Este mecanismo de falla a su vez depende de la resistencia de los planos de discontinuidad, su inclinación y la geometría del bloque deslizante.

Fotografía 6. Cuña formada por la intersección de diaclasas en el techo de una labor en la mina El Uvo.



Fuente: Autor.

Para este análisis se introducen datos de las orientaciones principales de discontinuidades calculadas en el software Dips 5.1, y parámetros de resistencia al corte obtenidos de ensayos realizados por la empresa Minas PazdelRío S.A. En la tabla 8 se muestran los parámetros de resistencia al corte y otras propiedades de los materiales de la mina El Uvo.

Tabla 8. Propiedades de los materiales del bloque El Uvo.

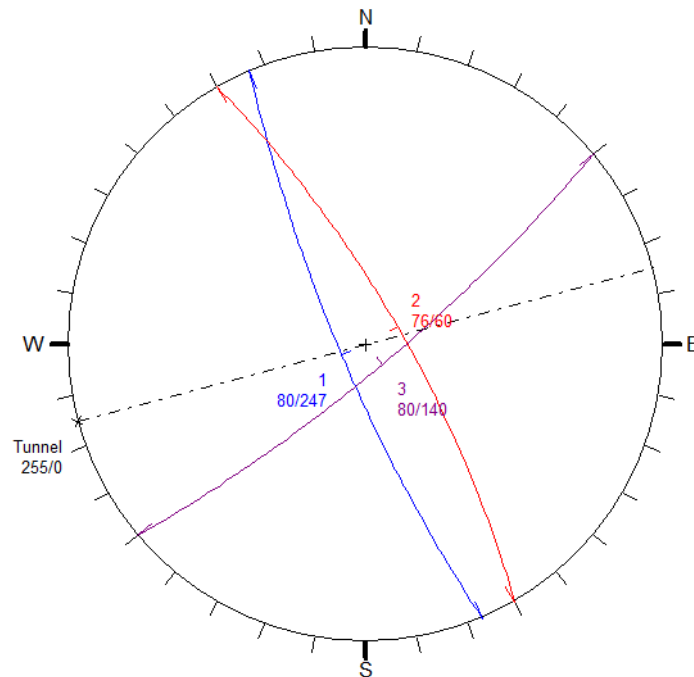
Litología	Peso Unitario (g/cm ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Angulo de fricción (°)	σ_{max} (Mpa)
Arcillolita	2.60	1.67	31	-

Hierro	3.00	2.30	43	50
Arenisca	2.65	1.43	46	43

Fuente: Minas PazdelRío S.A.

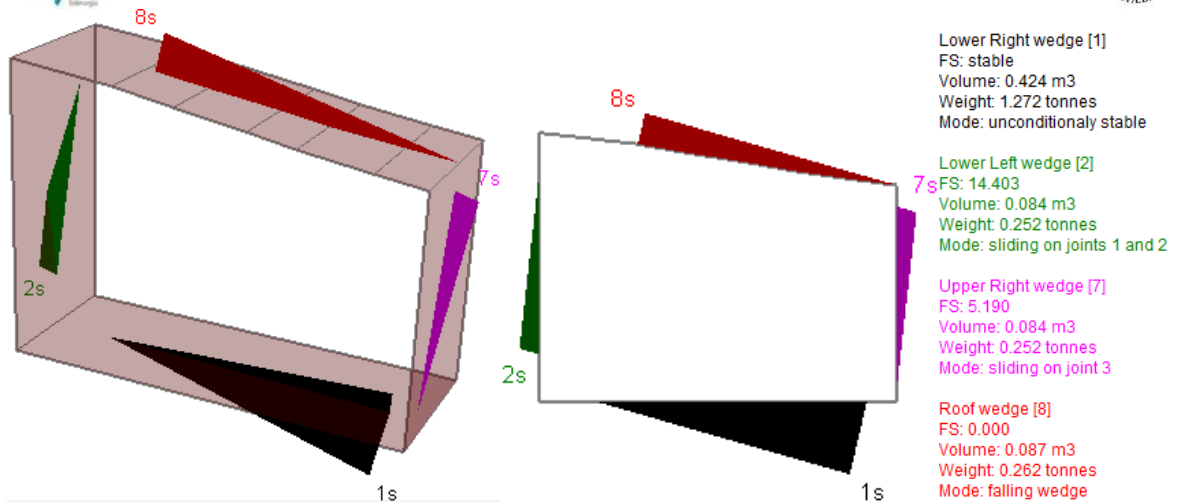
Los datos que caracterizan las direcciones principales de discontinuidades son ingresados al software y a partir de la intersección de éstos planos, se determinan las cuñas formadas en el túnel, las cuales pueden visualizarse en 3 dimensiones.

Figura 11. Estereograma de la cámara 9118 con las orientaciones principales de discontinuidades.



Fuente: Procesamiento de datos en software Unwedge 3.0.

Figura 12. Cuñas perimetrales formadas en la cámara 9118.

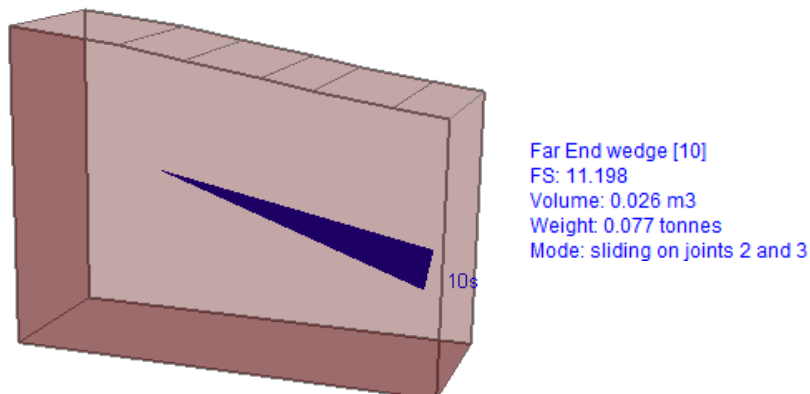


Fuente: Procesamiento de datos en software Unwedge 3.0.

El análisis muestra las cuñas formadas por la intersección de las familias de discontinuidades con sus principales características como el Factor de seguridad, peso, volumen y las juntas a través de las cuales fallaría, de darse dicha posibilidad.

La cuña formada en el techo del túnel (Roof wedge [8]), con un peso estimado de 0,262 toneladas, presenta un factor de seguridad de cero, indicando que esta cuña falla. Las 2 cuñas formadas en los pilares del túnel presentan un factor de seguridad admisible y dado que las cuñas que puedan formarse en el piso del túnel no representan ningún riesgo, indudablemente serán estables.

Figura 13. Cuña formada en el frente de avance de la cámara 9118.



Fuente: Procesamiento de datos en software Unwedge 3.0.

También pueden analizarse las cuñas que llegarían a formarse en el frente de avance de la labor, como se muestra en la figura 13; esta cuña de pequeña dimensión presenta un factor de seguridad alto y por ende se considera estable.

Los resultados del análisis de estabilidad para cada labor minera evaluada se muestran en el Capítulo 5.

5. RESULTADOS

5.1. ANALISIS DE DISCONTINUIDADES

A partir del procesamiento de discontinuidades en el Software Dips 5.1, se obtienen las direcciones preferenciales de las familias de discontinuidades para cada labor evaluada las cuales se muestran en las tablas 9 y 10.

Tabla 9. Direcciones preferenciales de familias de discontinuidades en cada frente (Dip / Dip direction).

LABOR	J1	J2	J3	J4
Vía 820	76/228	78/072	57/154	
Cámara 8216	84/215	85/070	36/136	39/337
Cámara 9118	80/247	76/060	80/140	
Cámara 9127	76/244	78/071	77/144	
Cámara 9129	63/004	79/081	75/158	

Fuente: Autor.

Tabla 10. Direcciones preferenciales de familias de discontinuidades en cada frente (Rumbo / Buzamiento).

LABOR	J1		J2		J3		J4	
	Rumbo	Buz	Rumbo	Buz	Rumbo	Buz	Rumbo	Buz
Vía 820	N42W	76SW	N18W	78NE	N64E	57SE		
Cámara 8216	N55W	84SW	N20W	85NE	N46E	36SE	N67E	39NW
Cámara 9118	N23W	80SW	N30W	76NE	N50E	80SE		
Cámara 9127	N26W	76SW	N19W	78NE	N54E	77SE		
Cámara 9129	N86W	63NE	N09W	79NE	N68E	75SE		

Fuente: Autor.

Pueden identificarse 3 direcciones preferenciales en cada frente evaluado a excepción de la cámara 8216 donde se presentan 4 familias de discontinuidades. La familia J2 de dirección NW y buzamiento NE, coincide con la orientación y

dirección de buzamiento de la Falla El Salitre; de igual forma, la familia J3 cuya dirección es NE y buza al SE, puede relacionarse con la Falla de Sibaría la cual tiene una dirección de N40–50E y buzamiento al SE. Por último, la familia J4 de rumbo NE y buzamiento NW en la cámara 8216, se encuentra en la misma orientación y dirección de buzamiento de la Falla de Buenos Aires, la cual divide la mina en el denominado bloque Buenos Aires hacia el sector Norte.

5.2. CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

La tabla 11 muestra las clasificaciones RMR de cada frente evaluado según la metodología expuesta. Es de apreciar, que todos los frentes evaluados se catalogan como clase III, con puntuaciones dentro del rango de 41 a 60 y de acuerdo a lo propuesto por Bieniawski, 1789, se asume que el macizo rocoso de la mina El Uvo es de calidad regular.

Tabla 11. Clasificación RMR, Bieniawski, 1789, de cada frente evaluado.

LABOR	PUNTUACIÓN	CLASE	CALIDAD
Vía 820	45	III	Regular
Cámara 8216	45	III	Regular
Cámara 9118	50	III	Regular
Cámara 9127	49	III	Regular
Cámara 9129	42	III	Regular

Fuente: Autor.

De acuerdo a la clasificación RMR, se estima que el macizo rocoso en los frentes evaluados es de calidad regular. Además, ésta clasificación asigna a los macizos rocosos de clase III una cohesión aproximada de 2 – 3 Kg/cm² y un ángulo de fricción entre 25 – 35°.

5.3. ANALISIS DE ESTABILIDAD

El análisis de estabilidad se realiza en el software Unwedge 3.0 de Rocscience, por el método de falla en cuña, considerando las familias de diaclasas principales en cada labor, la orientación de los túneles, los parámetros de resistencia al corte del mineral de hierro y sus propiedades físicas.

Se considera el criterio de falla de Mohr-Coulomb y un coeficiente sísmico de 0,3 debido a que la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica en la definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos, asigna al municipio de Paz de Río una Aceleración Sísmica (Aa) de 0,25⁸. Además, considerando el efecto de las vibraciones generadas por las voladuras se asume una Aceleración Sísmica de 0,3. En la tabla 12 se resumen las cuñas formadas en cada frente y su factor de seguridad.

Tabla 12. Factor de seguridad de las cuñas formadas.

CUÑAS	FACTOR DE SEGURIDAD				
	Vía 820	Cámara 8216	Cámara 9118	Cámara 9127	Cámara 9129
Techo	1,49	0,0	0,0	0,0	1,03
Pilar derecho	13,85	1,54	5,19	3,18	7,42
Pilar izquierdo	1,45	3,87	14,4	17,8	17,8
Frente de avance	9,03	5,18	11,2	3,24	4,27
Piso	Estable	Estable	Estable	Estable	Estable

Fuente: Autor.

La tabla 13 muestra las cuñas potencialmente inestables en cada frente evaluado considerando un factor de seguridad admisible mayor a 1,5.

Tabla 13. Características de las cuñas potencialmente inestables.

LABOR	CUÑA	FS	PESO (Ton)	VOLUMEN (m ³)
Vía 820	Techo	1,48	2,5	0,85
	Pilar izq.	1,45	0,13	0,04
Cámara 8216	Techo	0,0	4,28	1,43
	Pilar der.	1,54	1,35	0,45
Cámara 9118	Techo	0,0	0,26	0,087
Cámara 9127	Techo	0,0	0,028	0,009
Cámara 9129	Techo	1,03	1,55	0,517

⁸ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS. Norma Sismo Resistente, NSR10. Apéndice A-4. Valores de Aa, Av, Ae y Ad y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos. p. 53. Bogotá, 2010.

Fuente: Autor.

Puede observarse que las cuñas generadas en los pilares de los túneles suelen ser las más estables y por el contrario, las cuñas formadas en el techo son altamente susceptibles a la caída. Ya que estas cuñas son inestables, la primera solución es inducir su caída por gravedad, como se efectúa en el denominado proceso de desabombe manual cuando las condiciones de seguridad son aceptables y las dimensiones de las cuñas lo permiten, o desabombe con equipo mecánico cuando se requiera. Esta actividad es realizada previamente al pernado de los techos de las labores en explotación; trabajo con el cual a través de pernos anclados se estabilizan las cuñas a las que no se puede inducir su caída y que pueden desestabilizarse con el tiempo.

Cabe resaltar que en las secciones evaluadas de la Vía 820 y la Cámara 8216 se encuentran las cuñas potencialmente inestables de mayor dimensión. Las cuñas del techo de las cámaras 9118 y 9127 tienen un factor de seguridad de cero, lo que indica que tienden a caer y aunque sus dimensiones son menores a las de otras cámaras, siguen siendo significativas y no dejan de representar un gran riesgo.

6. CONCLUSIONES

- En general, el macizo rocoso de los frentes evaluados se caracteriza por tener 3 familias de discontinuidades, con espaciado que oscila entre 20 y 60cms., persistencia de 3 a 10 metros, aberturas entre 1 a 2 mm y relleno por lo general blando de 1 a 3 mm de espesor; lo que da al macizo la calidad media o regular dentro de la clasificación RMR.
- Se evidencia claramente la influencia de la tectónica sobre el origen de las discontinuidades, pues de acuerdo con este estudio, las familias J2, J3 y J4, se encuentran en la misma orientación y dirección de buzamiento de las fallas El Salitre, Sibaría y Buenos Aires respectivamente.
- El análisis tridimensional de las cuñas formadas por la intersección de discontinuidades es imprescindible para la evaluación de las labores en explotación, ya que permite conocer, entre otros aspectos, el volumen de roca y peso involucrado ante una eventual caída de material. Los resultados muestran que las cuñas generadas en los pilares de las labores suelen ser estables, mientras que las generadas en los techos tienen factores de seguridad por debajo de 1.5, consideradas como inestables.
- Las cuñas inestables de mayor dimensión se encuentran en los techos de la Vía 820 y la Cámara 8216; labores que además, también tienen la segunda puntuación más baja en la clasificación RMR. Por otra parte, las cuñas inestables del techo de las Cámaras 9118 y 9127, aunque son de menores dimensiones, tienen un factor de seguridad igual a cero que indica la caída inminente de las mismas.

7. RECOMENDACIONES

El presente estudio puede ser utilizado como guía predictiva para evaluar la seguridad de un frente de explotación y como contribución a la toma de decisiones para mitigar problemas puntuales, tales como el método de limpieza o desabombe de los techos y pilares, buscando siempre que los trabajadores estén menos expuestos al riesgo de accidentes por caída de rocas. Para efectos de medidas correctivas de mayor afectación como el método para estabilizar los techos, se recomienda considerar otros aspectos de gran influencia sobre la estabilidad del macizo rocoso como el estado de esfuerzos, la deformabilidad del macizo, la tectónica de la zona, entre otros.

En labores de circulación concurrente como es el caso de las vías de comunicación y los niveles de desarrollo, se recomienda hacer seguimiento de la condición geotécnica de dichas labores para registrar cambios que puedan producirse a través del tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO, B.; SARMIENTO, R. 1944. Informe geológico sobre los yacimientos de hierro, carbón y caliza de la región de Paz de Río, Departamento de Boyacá. Servicio Geológico Nacional, Informe 468, inéd., Bogotá. 132 p.

BIENIAWSKI, Z. T. Rock mechanic design in mining and tunnelling. Ed Balkerna. Rotterdam, Boston, 1984. 272 p.

BIENIAWSKI, Z. T. Engineering Rock Mass Classifications. Ed. Wiley and Sons Inc., vol1. New York, 1989.

FERRER, M. y GONZALEZ DE VALLEJO, L. Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGME, 1999.

GIL L. Mario. Geología del sector paz de río- q. Cosgua. Acerías Paz del Río S.A. El Uvo. Enero de 1970.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L., FERRER M., ORTUÑO L. y OTEO, C. Ingeniería geológica. Ed. Pearson, Madrid, 2002. 744 p.

HUDSON, J. A. Rock mechanics principles in engineering practice. Butterworths. Ciria. Londres, 1989.

ISRM. Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. Ed E. T. Brown, Pergamon Press. 1981.

Minas PazdelRío, Votorantim Siderurgia, Informe final de exploración del programa de exploración geológica, Belencito, Boyacá, Colombia, 2015.

OBERT, Leonard. DUVALL, I. Wilbur. Rock mechanics and the design of structures in rock. Ed John Wiley and Sons. New York. 1967.

REYES CHITARRO, Ítalo. Geología de la región Duitama, Sogamoso Paz de Río, Boyacá. 1984.

REYES CHITARRO, Ítalo y VALENTINO DE REYES, María T. Geología del yacimiento y variabilidad de las características geoquímicas del mineral de hierro

en la región de Paz Vieja, municipio de Paz de Río, Boyacá. Separata Primer Congreso Colombiano de Geología. 1976.

ROCSCIENCE. Unwedge Theory Manual. 2015.

ULLOA M, C. E.; CAMACHO G, R. y ESCOVAR R, R. (1998): Geología de la Plancha 172 Paz del Río escala 1:100.00. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), Bogotá, Colombia.

VAN DER HAMMEN, T., 1958. Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes Colombianos. Boletín Geológico de INGEOMINAS. Vol. VI, Nos. 1-3, Bogotá.

ANEXOS

Labor	Este	Norte	Tipo de plano	Dip	Dip direction	Persistencia					Espaciado				Abertura					Rugosidad			Relleno		Alteración					Agua Freatica							
						< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m	Cerrada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	Muy Rugosa	Rugosa	Liger. Rugosa	Ondulada	Suave	Composición	Espesor (mm)	Inalterada	Liger. Alterada	Mod. Alterada	Muy Alterada	Descompuesta	Seco	Lig. Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
Vía 820	1148203	1158408	F	32	120			x			x						x				x	-	-			x				x							
Vía 820	1148243	1158416	D	62	136		x					x						x				A	1		x					x							
Vía 820	1148243	1158416	D	88	188		x						x					x				A	0,8		x					x							
Vía 820	1148259	1158420	D	83	240			x				x			x					x		Cl-A	1,3			x				x							
Vía 820	1148262	1158421	D	78	240		x					x						x				Si-A	0,5		x					x							
Vía 820	1148266	1158422	D	73	57			x						x				x				Si-A	0,5		x					x							
Vía 820	1148266	1158422	D	75	95	x						x						x				Si-A	0,5		x					x							
Vía 820	1148273	1158423	D	72	225		x					x				x				x		Cl-A	1,5			x				x							
Vía 820	1148254	1158419	D	81	220			x					x						x			Si-A	0,3		x					x							
Vía 820	1148254	1158419	D	86	75			x					x					x				Si-A	0,1		x						x						
Vía 820	1148232	1158415	D	80	63			x					x						x			Si-A	0,3		x					x							
Vía 820	1148281	1158424	D	72	220			x					x						x			-	-	x						x							
Vía 820	1148276	1158423	D	72	224		x					x				x				x		Sd	2	x	x					x							
Vía 820	1148276	1158423	F	47	132			x			x					x					x	-	-		x					x							
Vía 820	1148232	1158415	D	68	232			x					x						x			-	-	x						x							
Vía 820	1148213	1158410	D	82	63		x					x							x			Si	0,3		x						x						
Vía 820	1148221	1158411	D	75	141		x					x							x			-	-	x						x							
Tipo de plano:			Tipo de relleno:																																		
D: Diaclasa			F: Falla			A: Asfaltita			Sd: Siderita			Ta: Talco																									
E: Estratificación			C: Cizalla			Cl: Arcilla			Si: Sílice																												

Registro de datos Cámara 8216.

Labor	Este	Norte	Tipo de plano	Dip	Dip direction	Persistencia					Espaciado				Abertura				Rugosidad				Relleno		Alteración					Agua Freatica														
						< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m	Cerrada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	Muy Rugosa	Rugosa	Liger. Rugosa	Ondulada	Suave	Composición	Espesor (mm)	Inalterada	Liger. Alterada	Mod. Alterada	Muy Alterada	Descompuesta	Seco	Lig. Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo							
C-8216	1148055	1158342	F	49	312				x		x					x						-	-		x					x														
C-8216	1148055	1158342	D	45	340		x					x							x			Cl-A	1,5			x				x														
C-8216	1148064	1158344	F	35	145				x		x						x					-	-		x					x														
C-8216	1148064	1158344	D	85	225			x					x						x			Si	1	x								x												
C-8216	1148066	1158344	D	20	5		x					x							x			Cl	0,2		x					x														
C-8216	1148068	1158345	D	85	70			x					x							x		Si	1		x					x														
C-8216	1148068	1158345	F	19	135				x		x					x						-	-		x					x														
C-8216	1148061	1158343	F	55	130				x		x					x						-	-		x					x														
C-8216	1148061	1158343	D	85	213			x					x						x			Si	0,5	x							x													
C-8216	1148057	1158342	D	83	207			x					x						x			Si	1		x					x														
C-8216	1148053	1158341	D	62	328			x					x						x			-	-	x								x												
C-8216	1148055	1158342	E	27	371		x					x					x					-	-	x						x														
C-8216	1148072	1158346	D	78	140			x					x							x		Cl	0,3		x					x														
C-8216	1148075	1158346	D	83	218			x				x								x		A-Si	1		x					x														
C-8216	1148075	1158346	D	80	137		x					x							x			-	-	x						x														
Tipo de plano:						Tipo de relleno:																																						
D: Diaclasa			F: Falla			A: Asfaltita			Sd: Siderita			Ta: Talco																																
E: Estratificación			C: Cizalla			Cl: Arcilla			Si: Sílice																																			

Registro de datos cámara 9118

Labor	Este	Norte	Tipo de plano	Dip	Dip direction	Persistencia					Espaciado				Abertura				Rugosidad				Relleno		Alteración					Agua Freatica						
						< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m	Cerrada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	Muy Rugosa	Rugosa	Liger. Rugosa	Ondulada	Suave	Composición	Espesor (mm)	Inalterada	Liger. Alterada	Mod. Alterada	Muy Alterada	Descompuesta	Seco	Lig. Húmedo	Húmedo	Goteando
C-9118	1147446	1158427	F	51	123			x			x						x					-	-			x				x						
C-9118	1147432	1158426	D	85	328			x				x							x			A	1,5		x					x						
C-9118	1147432	1158426	D	83	45			x				x							x			A	1,5		x					x						
C-9118	1147427	1158425	D	72	145		x						x						x			Si-A	1		x					x						
C-9118	1147427	1158425	D	85	243			x					x						x			Si-A	1,5		x					x						
C-9118	1147423	1158425	D	87	150			x					x				x					-	-	x						x						
C-9118	1147423	1158425	D	86	264		x						x					x				Si	0,5		x					x						
C-9118	1147417	1158424	D	83	253		x						x					x				Si-Cl	0,5		x					x						
C-9118	1147439	1158426	F	79	230				x		x						x				x	-	-			x				x						
C-9118	1147439	1158426	D	80	245			x				x							x			Si-Cl	0,8		x					x						
C-9118	1147439	1158426	D	82	13			x				x							x			Si-Cl	0,5		x					x						
C-9118	1147439	1158426	D	68	76		x					x							x			Si-Sd	0,5		x					x						
C-9118	1147410	1158423	F	78	135				x		x						x				x	Ta	0,1			x				x						
C-9118	1147410	1158423	D	87	238		x					x								x		Si-A	2		x						x					
C-9118	1147410	1158423	D	83	78		x					x								x		Si-A	1		x					x						
C-9118	1147414	1158423	F	85	143				x		x						x					-	-		x					x						
C-9118	1147414	1158423	D	85	55			x					x						x			Si	0,5	x						x						
Tipo de plano:																																				

57

Registro de datos Cámara 9127

Labor	Este	Norte	Tipo de plano	Dip	Dip direction	Persistencia					Espaciado				Abertura				Rugosidad				Relleno		Alteración					Agua Freatica						
						< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m	Cerrada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	Muy Rugosa	Rugosa	Liger. Rugosa	Ondulada	Suave	Composición	Espesor (mm)	Inalterada	Liger. Alterada	Mod. Alterada	Muy Alterada	Descompuesta	Seco	Lig. Húmedo	Húmedo	Goteando
C-9127	1147318	1158358	D	74	66			x				x							x			Si	1	x						x						
C-9127	1147318	1158358	D	76	160			x				x							x			Si-A	1,5		x					x						
C-9127	1147309	1158354	D	74	235			x				x							x			Si	1	x						x						
C-9127	1147309	1158354	D	83	144		x						x						x			-	-	x						x						
C-9127	1147303	1158352	F	85	145				x		x						x				x	-	-	x							x					
C-9127	1147303	1158352	D	78	253			x					x						x			Si-Sd	1		x						x					
C-9127	1147323	1158360	D	82	70		x					x							x			Si-A	1,3		x					x						
C-9127	1147323	1158360	D	76	138			x					x						x			Si	0,5	x						x						
C-9127	1147300	1158351	C	67	130			x			x						x				x	-	-	x						x						
C-9127	1147327	1158361	D	79	78		x					x							x			Si	1	x						x						
C-9127	1147327	1158361	D	73	144			x					x							x		Sd-A	0,5		x					x						
C-9127	1147295	1158349	D	82	248		x						x						x			-	-	x						x						
C-9127	1147291	1158349	D	75	63			x				x							x			Si	0,3	x						x						
C-9127	1147291	1158349	D	85	160			x				x							x			-	-	x							x					
C-9127	1147293	1158348	D	70	67			x				x							x			Sd-A	0,3		x					x						
C-9127	1147291	1158347	D	79	135		x						x						x			Sd-Si	0,3		x					x						
Tipo de plano: Tipo de relleno:																																				
D: Diaclasa			F: Falla			A: Asfaltita			Sd: Siderita			Ta: Talco																								
E: Estratificación			C: Cizalla			Cl: Arcilla			Si: Sílice																											

Registro de datos Cámara 9129

Labor	Este	Norte	Tipo de plano	Dip	Dip direction	Persistencia					Espaciado				Abertura				Rugosidad				Relleno		Alteración					Agua Freatica									
						< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	> 2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m	Cerrada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	Muy Rugosa	Rugosa	Liger. Rugosa	Ondulada	Suave	Composición	Espesor (mm)	Inalterada	Liger. Alterada	Mod. Alterada	Muy Alterada	Descompuesta	Seco	Lig. Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
C-9129	1147306	1158394	F	50	20				x		x					x				x		-	-		x					x									
C-9129	1147306	1158394	D	78	85			x				x					x					Sd	0,5		x						x								
C-9129	1147297	1158391	D	83	80			x				x					x					-	-	x						x									
C-9129	1147297	1158391	D	77	352		x					x						x				Si-A	1		x					x									
C-9129	1147294	1158390	D	85	82			x				x					x				x	-	-	x						x									
C-9129	1147294	1158390	D	71	145			x				x					x					Sd-A	0,5		x					x									
C-9129	1147290	1158388	D	78	160		x					x						x				Si	0,5	x						x									
C-9129	1147290	1158388	D	79	92			x				x						x				Si	0,5	x						x									
C-9129	1147301	1158392	D	70	70			x				x						x				-	-	x						x									
C-9129	1147301	1158392	D	80	178		x					x						x				Si-A	1		x						x								
C-9129	1147273	1158382	F	73	147				x		x						x					-	-		x					x									
C-9129	1147306	1158397	D	76	340		x					x						x				A	0,5		x					x									
C-9129	1147306	1158397	D	80	138			x				x							x			Sd-A	1		x					x									
C-9129	1147282	1158385	D	75	165			x				x						x				Si-Sd	1		x					x									
C-9129	1147282	1158385	F	58	32			x			x				x					x		-	-		x					x									
C-9129	1147277	1158384	D	79	87		x					x						x				-	-	x						x									
C-9129	1147277	1158384	D	82	150		x					x							x			Si-Sd	1,2		x					x									
C-9129	1147269	1158380	D	77	83			x				x							x			Si-A	1		x					x									
C-9129	1147269	1158380	D	85	165		x					x						x				Si-A	1		x					x									
Tipo de plano:																														Tipo de relleno:									
D: Diaclasa			F: Falla			A: Asfaltita			Sd: Siderita			Ta: Talco																											
E: Estratificación			C: Cizalla			Cl: Arcilla			Si: Sílice																														

ANEXO B. Bitácora de actividades realizadas durante la práctica.

Como estudiante de la escuela de Ingeniería Geológica y en calidad de practicante en la empresa Minas PazdelRío S.A., se desarrollaron actividades que contribuyeron favorablemente a los diferentes procesos que adelanta la empresa y que aportaron a mi formación personal y profesional. Dentro de las principales actividades realizadas se encuentran las siguientes:

Julio 16 – Septiembre 22. Descripción Geológica y geotécnica de núcleos de perforación, muestreo geotécnico, muestreo litológico para análisis químico, realización de ensayos de carga puntual (PLT) y revisión de bases de datos de logueo. El registro de datos se consignó en el formato establecido para el manejo de dicha información de acuerdo al patrón operacional de dicha actividad.

Lugar: Área de logueo, Belencito, Boyacá.

Fotografías 7 y 8. Núcleos de perforación en cajas metálicas.



Fuente: Autor.

03 – 07 Agosto. Orientación de pruebas de campo en sondeos manuales de estudio de suelos para el diseño de cimentaciones. Las principales pruebas realizadas fueron el ensayo SPT, prueba de veleta con torque y toma de muestra con tubo de pared delgada (shelby).

Lugar: Mina El Santuario, Ubalá, Cundinamarca.

Fotografías 9, 10 y 11. Ejecución de pruebas de campo en estudio de suelos.

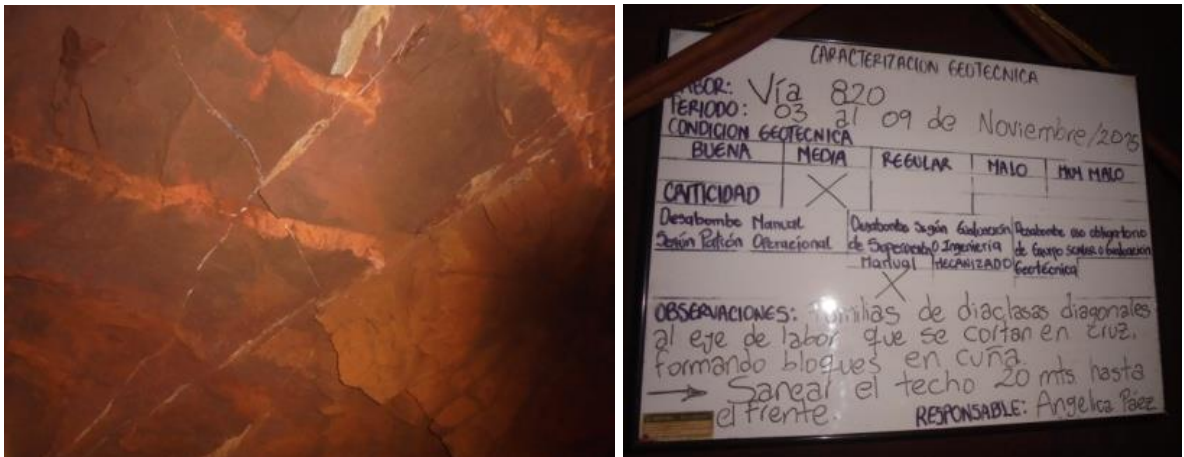


Fuente: Autor.

Agosto 24 – Enero 11. Evaluación semanal de los frentes activos de la mina subterránea de hierro El Uvo, para identificar el nivel de riesgo geológico asociado con desprendimientos o caída de roca. Actualización de los tableros de caracterización geotécnica en cada frente de explotación activo y elaboración del respectivo informe del nivel de riesgo proyectado en la semana. Esta actividad era realizada el primer día de trabajo para informar a los trabajadores sobre las condiciones que se espera tener en cada labor a lo largo de la semana.

Lugar: Mina bajo tierra El Uvo, Paz de Rio, Boyacá.

Fotografías 12 y 13. Techo de labor minera en explotación y tablero con la respectiva información de evaluación.



Fuente: Autor.

01 – 07 Septiembre. Realización de ensayos de propiedades físicas (densidad, humedad y gravedad específica) para minerales de hierro y caliza de las minas El Santuario, El Volador y El Uvo. Estos ensayos se realizan a manera de control cada trimestre sobre muestras tipo puño extraídas en los frentes de explotación de cada mina.

Lugar: Laboratorio planta de beneficio, Paz de Río, Boyacá.

Fotografías 14 y 15. Muestras para realización de ensayos de propiedades físicas.

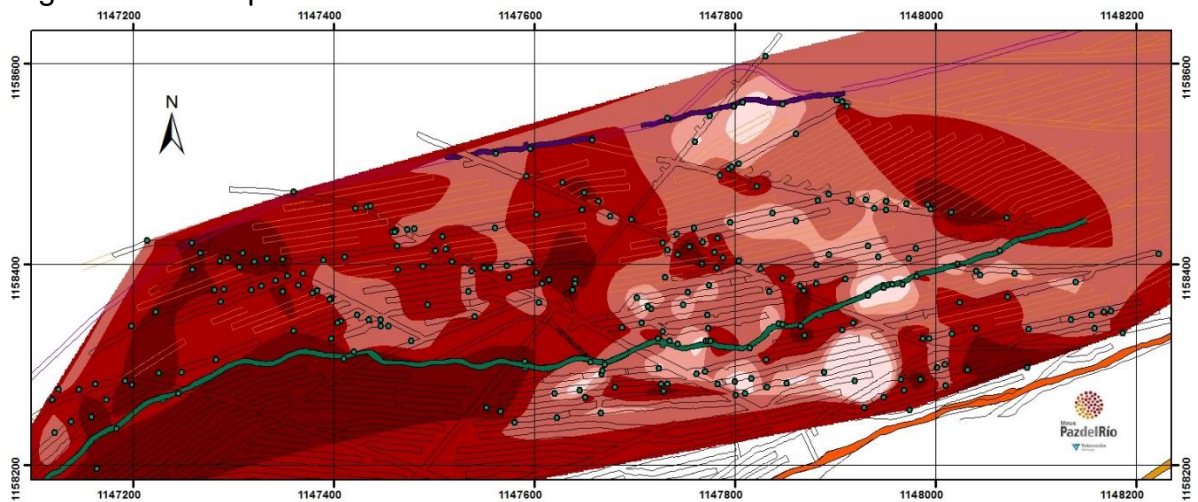


Fuente: Autor.

Septiembre 15 – Diciembre 30. Estimación mensual de la calidad del mineral de hierro de la Mina El Uvo a partir de muestreo geoquímico realizado en los frentes de las labores mineras proyectadas para la explotación. Dicha estimación se realiza con mapas de isocalidad producto del procesamiento geoestadístico de los resultados de análisis químico teniendo en cuenta los cierres estequiométricos. Esta proyección de calidad del mineral de hierro permite tener un control dentro de los planes de explotación para garantizar la calidad del mineral en el proceso siderúrgico.

Lugar: Edificio Administrativo de Minas, Belencito, Boyacá.

Figura 14. Mapa de isocontenido de Hierro.



Fuente: Minas PazdelRío S.A., adaptado por autor.

06 – 09 Octubre. Análisis estadístico de los resultados de ensayos de carga puntual (PLT) en testigos de roca de perforaciones de 6 bloques del título minero 006 – 85M.

Lugar: Edificio Administrativo de Minas, Belencito (Boy).

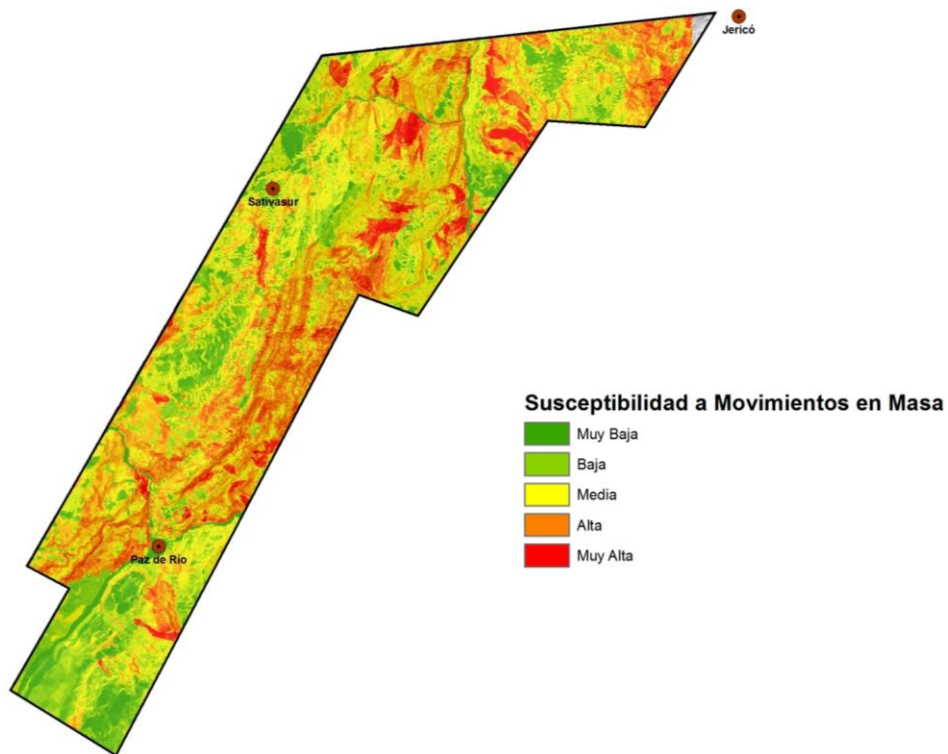
19 – 30 Octubre. Elaboración de mapas y asistencia en la producción del informe del Programa de Exploración Geológica del título minero 006–85M.

Lugar: Edificio Administrativo de Minas, Belencito (Boy).

Noviembre 09 – Diciembre 04. Zonificación de la susceptibilidad del terreno a fenómenos de remoción en masa dentro del título minero 006-85M, siguiendo la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano en su publicación “documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa a escala 1:100.000”.

Lugar: Edificio Administrativo de Minas, Belencito (Boy).

Figura 15. Zonificación de susceptibilidad del terreno a movimientos en masa del título minero 006-85M.

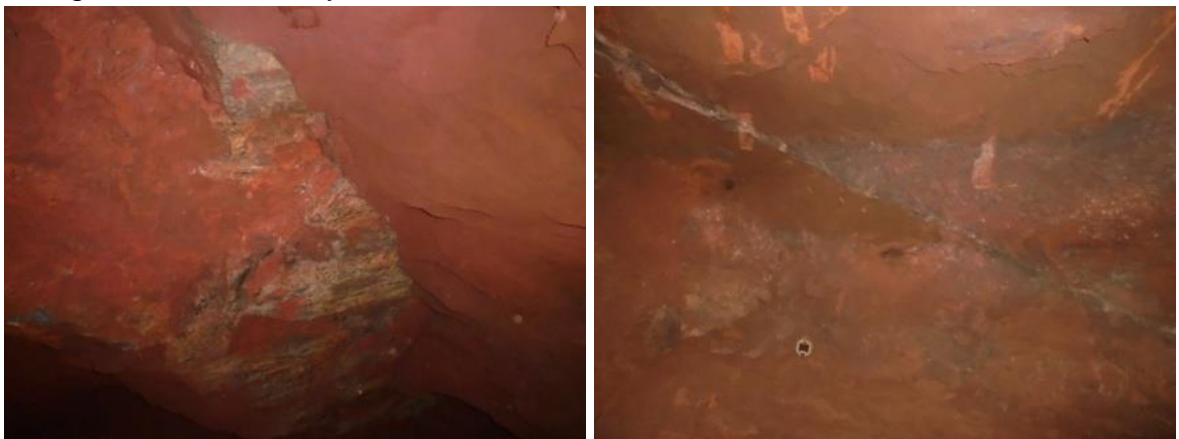


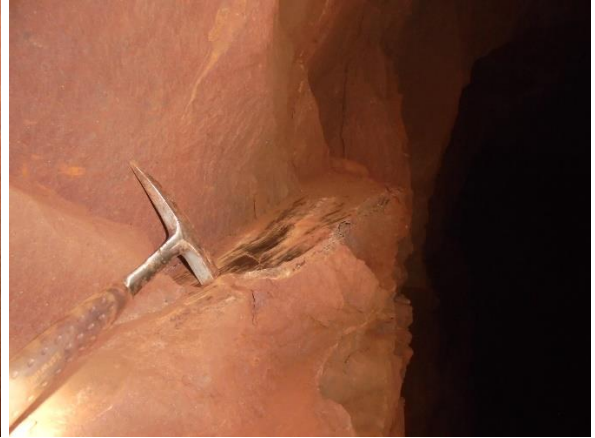
Fuente: Minas PazdelRío S.A., realizado por autor.

04 – 15 Enero. Actualización del mapa de fallas en las labores mineras bajo tierra de la mina el Uvo. Esta actividad incluyó el levantamiento de las fallas dentro de las labores mineras subterráneas.

Lugar: Mina de hierro El Uvo, Paz de Río, Boyacá.

Fotografías 16, 17, 18 y 19. Levantamiento de fallas dentro de la mina El Uvo.





Fuente: Autor